N° 5 15 MARS 1930

Revue générale des Sciences pures et appliquées

Fondateur : Louis OLIVIER (1890-1910) — Directeur : J.-P. LANGLOIS (1910-1923)

Directeur : Louis MANGIN, Membre de l'Institut, Directeur du Muséum national d'Histoire Naturelle

Adresser tout ce qui concerne la rédaction à M. Ch. DAUZATS, 8, place de l'Odéon, Paris, — La reproduction et la traduction des œuvres et des travaux publiés dans la *Revue* sont complètement interdites en France et en pays étrangers y compris la Suède, la Norvège et la Hollande.

CHRONIQUE ET CORRESPONDANCE

§ 1. — Sciences physiques.

La loi de Landolt-Oudemans est-elle valable pour les solutions non aqueuses?

On sait qu'Oudemans, se basant sur des observations antérieures de Landolt, a montré il y a une cinquantaine d'années déjà que les bases et les acides optiquement actifs sous forme de sels neutres en solution diluée, conservent toujours à peu près le même pouvoir rotatoire. En tenant compte de la théorie de la dissociation électrolytique d'Arrhénius, Hädrich a mis plus tard cette loi sous la forme suivante : « Le pouvoir rotatoire non seulement des sels, mais de tous les électrolytes actifs, dans les solutions presque totalement dissociées, est indépendant de l'ion inactif ».

De nombreuses recherches ont depuis lors confirmé la validité de cette loi pour les solutions aqueuses; on relève à peine, ici et là, quelques anomalies. Sur les solutions non aqueuses, on ne possède encore que quelques travaux isolés et moins concluants. Aussi M. Paul Walden a-t-il voulu reprendre l'étude de cette question[1].

Il a étudié polarimétriquement des substances fortement dextrogyres sur un intervalle étendu de dilution (de 10 à 500 l.), soit : 1° un sel binaire typique, le bromocamphosulfonate de tétréthylammonium; 2° un semi-électrolyte, l'acide bromocamphosulfonique; 3° un non-électrolyte, le chlorure de l'acide bromocamphosulfonique. Il a choisi des solvants de nature chimique diverse et de tendances ionisantes très différentes, depuis l'eau et les alcools jusqu'aux hydrocarbures.

De ses mesures, il résulte que chacune des trois substances, dans le solvant envisagé, possède une rotation moléculaire $[M]_D$ pratiquement indépendante de la dilution. La valeur de $[M]_D$ varie de solvant à solvant, mais le rapport des valeurs de $[M]_D$ pour le sel (électrolyte) et le chlorure (non électrolyte) dans les divers solvants est pratiquement constant.

Si l'on considère que : 1° la formation d'ions, c'est-à-dire le degré de dissociation, et la nature des ions dans les divers milieux ionisants (très forts et très faibles) ne peuvent être les mêmes; 2° l'indépendance du pouvoir rotatoire et de la dilution a été trouvée la même pour le sel et pour le chlorure non dissocié; 3° le rapport des valeurs de $[M]_D$ est aussi peu variable; 4° enfin les valeurs absolues de $[M]_D$ dépassent de beaucoup dans les bons ionisants (analogues à l'eau) et pour les hautes dilutions la rotation moléculaire de l'ion $C^{10}H^{14}BrO.SO^3$ en solutions aqueuses, on arrive alors à la conclusion suivante :

La rotation constante est provoquée non seulement par les ions *libres* du sel (et de l'acide), mais aussi par des ions *latents* ou *non encore dissociés* qui se trouvent en liaison hétéropolaire. La variation de la rotation provient du solvant, qui agit de la même façon sur les *ions* que sur le *complexe* optiquement actif du chlorure du sulfoacide.

On observe un parallélisme analogue dans la marche de la rotation et du pouvoir réfracteur dans chaque solvant.

L. B.

1. *Sitzungsber. der Akad. der Wiss. in Wien, Math.-naturwiss. Kl.*, Abt. II *b* (*Chemie*), t. CXXXVIII.

§ 2. — Sciences naturelles.

Les altérations des roches en Indochine française.

L'étude des altérations des roches a une énorme importance, tant pour le géologue que pour l'ingénieur des travaux publics et pour l'agronome, et une vue d'ensemble de toutes les observations qui ont été faites sur ce sujet rendrait de grands services. M.F. Blondel, chef du Service géologique de l'Indochine, en attirant l'attention sur cette question[1], communique également ses propres recherches sur les altérations des roches dans ce pays.

Le granite y donne des altérations assez analogues à celles des pays à climat tempéré, en formant une sorte de sable relativement peu argileux, où le quartz reste très abondant; parfois, cependant, il se décompose en une terre rouge, moins siliceuse et plus riche en fer, mais qui n'a pourtant rien d'une latérite.

Les roches laviques (rhyolites) de même composition que le granite subissent une altération très différente : elles s'enrichissent en alumine en donnant une terre homogène rouge jaunâtre à allure déjà latéritique. Il en est de même des basaltes, qui fournissent une terre rouge bien connue des agronomes.

Les grès et les alluvions anciennes donnent fréquemment des altérations compactes, le « bienhoa », analogues à la cuirasse latéritique décrite par M. Lacroix en Guinée : c'est un agglomérat de fer et de silice, cette dernière presque entièrement à l'état libre.

Enfin, les calcaires ne sont pas altérés, mais dissous, laissant à leur place une argile rougeâtre, non latéritique.

L'épaisseur des altérations est très variable, même pour des roches très analogues, en des régions diverses, sans qu'on puisse déterminer la cause de cette variation.

En somme, des deux types extrêmes d'altération des roches (celui des *pays tempérés*, dans lequel l'argile n'est pratiquement pas décomposée, et le type *latéritique*, dans lequel l'argile se décompose en silice et alumine, tandis que l'alumine et le fer se concentrent), le deuxième n'est pas connu à l'état de pureté absolue en Indochine. D'autre part, les formes d'altération semblent dans une certaine mesure indépendantes du climat, car les deux types coexistent dans ce pays dont on ne peut nier qu'il possède un climat tropical. On est donc conduit à se demander si le climat est bien la cause profonde de la différence reconnue entre les deux types extrêmes d'altérations.

Une autre question très intéressante est celle de la cause de l'altération. A cet égard, il est très remarquable de constater que des roches très dures à travailler s'altèrent rapidement. On a invoqué jusqu'à présent l'action combinée de la chaleur et de l'humidité. Mais ces seuls agents ne donnent rien de semblable dans nos laboratoires. Faut-il faire intervenir une action microbiologique? Cela paraît bien hypothétique, mais cela démontre surtout la nécessité d'une étude approfondie des phénomènes. L. B.

1. *Bull. du Serv. géol. de l'Indochine*, vol. XVIII, fasc. 3; Hanoï, 1929.

*
**

Le Quinquina à la Réunion. Extension des plantations d'essais.

Le service des Eaux et Forêts de La Réunion ne cesse de poursuivre les plantations de quinquinas. On peut presque dire que la période des essais est close : non seulement le quinquina trouve dans cette île les conditions de terrain et de climat qui lui conviennent, mais il a déjà été possible d'exploiter les écorces de ces arbres depuis une dizaine d'années. Récoltes modestes sans doute, quelques centaines de kilogrammes même pas tous les ans, mais qui permettent de se rendre compte des rendements à espérer pour l'avenir.

Il existe à l'heure actuelle[1] deux pépinières annexées à deux plantations de quinquinas : 1° le grand Ilet de la Rivière des Pluies, dans un endroit élevé et d'accès difficile des montagnes du nord de la Réunion. En 1929 cette pépinière a produit 8.000 plants et 3.320 sujets ont été mis en place; plusieurs milliers de sujets sont en âge d'être exploités; il avait été prévu, en 1928, d'exploiter, l'année qui vient de s'écouler, 2.000 sujets, mais les difficultés de main-d'œuvre, le manque de locaux pour servir de sécherie n'ont pas permis de réaliser entièrement ce programme : On a recueilli seulement 455 kilogrammes d'écorce provenant de 359 arbres de 8 ans, soit en moyenne 1 k. 270 par arbre.

Ces écorces, mises en vente aux enchères publiques, par les soins du Service des Domaines, sur la mise à prix de 10 francs le kilogramme n'ont pas trouvé preneur, sauf un lot de 25 kg. seulement. Or les pharmaciens locaux payent leurs écorces, d'origine étrangère, entre 16 et 22 francs le kilo; on pourrait s'étonner de les voir bouder des écorces offertes à moitié prix : en réalité, les écorces qu'ils reçoivent ont très probablement une teneur en quinine deux ou trois fois plus élevée, au moins, que celle des écorces de La Réunion, par suite le prix de 10 francs est certainement un maximum pour les écorces du pays, provenant peut-être du *Cinchona siccirubra*, du moins en ce qui concerne les arbres des anciennes plantations.

Si l'on comptait l'écorce à raison de 8 francs, chaque arbre rapporterait en moyenne : 1 k. 270 × 8 = 10 fr. 16 bruts; ou encore, puisqu'il s'agit d'arbres âgés de huit ans : 1 fr. 27 brut par an. Quelle est, à la Réunion l'essence forestière pouvant rapporter cette rente en si peu d'années, rien que par son écorce, le bois restant au surplus, ne serait-ce que comme combustible. Seuls le Filao et le Pin peuvent être mis en balance par la valeur de leurs produits, mais l'âge d'exploitabilité du filao est de quinze à vingt ans

1. Rapport, 1929, sur le fonctionnement du Service des E. et F.

au moins, celle du pin est supérieure de beaucoup à cinquante ans. Les particuliers devraient, lorsqu'ils ont des terrains convenant au quinquina, dans les montagnes, faire des plantations de cette essence de gros rapport.

D'ailleurs les rendements peuvent être augmentés si l'on fertilise les arbres les premières années; le transport du fumier ne peut être envisagé mais l'*acacia decurrens*, qui existe partout dans la colonie, pourrait, ainsi que le fait remarquer mon ancien collaborateur, actuellement chef du service forestier, être planté dans les interlignes des plantations de quinquinas; cette légumineuse enrichirait le sol en azote par les nodosités de ses racines et deux fois par an les produits de sa taille laissés sur le sol ou enfouis produiraient une abondante quantité d'humus. Un essai de cette nature a été entrepris sur un hectare dans la plantation de la Rivière des Pluies. 2° Une seconde plantation se trouve à l'Ilet à Guillaume, toujours dans les montagnes du nord de La Réunion, mais dans la direction sud-ouest de Saint-Denis, tandis que la première était au sud-est. La pépinière de l'Ilet à Guillaume a été installée à 700 m. d'altitude dans une région ou, dès 1866, les Pères du Saint-Esprit plantèrent des graines de Cinchona envoyées de Paris par le général Morin. Sur cet emplacement, abandonné malheureusement, un certain nombre d'arbres résistèrent et atteignirent une très grande hauteur; c'était la meilleure preuve que l'endroit leur convenait et il était tout indiqué d'y refaire des plantations nouvelles. On réserva cet Ilet aux graines de quinquinas reçues du Ministère des Colonies et provenant de Java, issues de variétés riches en alcaloïde. Les premiers semis furent fortement endommagés par le cyclone de 1928; on sauva cependant 300 sujets, aujourd'hui mis en pleine terre et qui se montrent très vigoureux : ils serviront de porte-greffes. Deux nouveaux semis ont été, depuis, effectués et les résultats en sont jusqu'à présent des plus satisfaisants. Une surface de trois hectares près de la pépinière est prête à servir de champ d'expérience pour la multiplication.

En 1922, M. l'Inspecteur général des Colonies Tixier nous avait demandé de donner une impulsion sérieuse à la culture de l'arbre à quinine : ce désir, qui était un reflet des préoccupations qui régnaient dans les hautes sphères médicales de la Métropole, nous avons essayé d'y déférer, en nous tenant perpétuellement au courant, même de très loin, à tout ce qui touche à la plantation du quinquina à La Réunion pensant avant tout à l'intérêt supérieur de notre pays, par ses colonies.

Marcel RIGOTARD.
Ancien chef du Service de l'Agriculture et des Forêts de la Réunion.

§ 3. — Art de l'Ingénieur.

A propos du taylorisme.

Une étude fort curieuse de A. Loria[1] tend à modifier les notions que nous avons, nous Européens, de la célèbre méthode de travail américaine, le taylorisme.

Aux Etats-Unis, le taylorisme, appliqué sur une grande échelle dans les principales industries dominées par les trusts, et surtout dans la plus importante, celle de l'acier, provoquerait chez les ouvriers une véritable dévastation morale tendant à les épuiser, à les anéantir.

On a observé qu'un raboteur de profession, malade, répétait en dormant le même geste mécanique, qui consiste à ajuster une plaque métallique dans la raboteuse; devenu complètement fou, il continuait à travailler assez habilement aux parties des machines qui lui étaient confiées.

Les comités techniques chargés de choisir les ouvriers, pratiquent la sélection à rebours, car ils recrutent systématiquement les ouvriers médiocres ou même absolument idiots, parce que ceux-ci se laissent plus docilement prendre dans l'engrenage implacable de cette nouvelle méthode de production. Par exemple, la U. S. Rubber Company recrute régulièrement des jeunes filles complètement idiotes — en est-il en si grand nombre aux Etats-Unis? — parce qu'elle a constaté qu'à la fin d'une période d'éducation appropriée, elles accomplissent leur tâche de la façon la plus irréprochable.

Les émigrants yougoslaves, rapatriés après l'émancipation politique de leur pays, prétendent qu'aux Etats-Unis les ouvriers qui ont travaillé six mois sous le régime Taylor sont contraints de se reposer également six mois, sous peine de tomber malades; d'autres témoins oculaires affirment que les ouvriers taylorisés sont obligés de s'adonner à l'alcool pour réparer fictivement l'épuisement physique et moral qui les étreint. Cet épuisement provoquerait une augmentation considérable des cas de maladie et des accidents du travail. Enfin, les industries taylorisées n'emploieraient le plus souvent que des travailleurs âgés de moins de 30 ans, parce que l'épuisement systématique auquel est soumis l'ouvrier en abrège la vie productive.

Aussi, d'après les critiques s'élèvent, dans les milieux ouvriers, contre le taylorisme : en Allemagne notamment où la Confédération des ouvriers métallurgistes réclame une meilleure appréciation des forces ouvrières avec une transformation des énergies psychiques de l'individu en énergies physiques, ce qui est le contrepied du taylorisme.

D'autre part, il est des ouvriers taylorisés qui, dans une intention de défense contre les influences dangereuses du système, ont recours à la méthode de travail ralenti qu'une commission ouvrière anglaise n'a pas manqué de louer.

Mais le *fordisme*, exagération du taylorisme, serait plus dangereux encore. Ce système diffère du taylorisme par deux points : au lieu de réduire le coût de l'objet manufacturé, le fordisme se préoccupe d'augmenter l'offre de celui-ci et il y parvient en réduisant les frais de vente et en augmentant la demande de ses produits. Voici un exemple de réduction de frais de vente atteignant plusieurs centaines de milliers

1. *Scientia*, déc. 1929.

de dollars : obligation aux vendeurs d'un grand magasin de dire à l'acheteur : « emportez-vous le paquet », au lieu de « voulez-vous qu'on porte le paquet à votre demeure ». Quant à la demande, elle est accrue par la réclame, dont le rôle est tel aux Etats-Unis qu'un enseignement lui est consacré dans plusieurs universités. Il est vrai qu'en France, nous avons des maisons spéciales se chargeant de guider les commerçants dans... cet art, que nous saisissons sur le vif quand nous voyons établir un étalage d'objets de luxe.

Pour réduire les prix de vente, Ford imagine le travail à la chaîne, dans lequel un convoyeur mécanique réalise le passage automatique de l'objet à travers diverses phases, contraignant l'ouvrier à accomplir sa tâche dans une durée que le mécanisme transmetteur impose, ce qui tendrait à intensifier la mécanisation et l'automatisme du travail et permet de recruter des ouvriers à peu près ignorants.

Assurément taylorisme ou fordisme ont astreint l'usine à un ordre nécessaire, mais ils ont enlevé l'âme du travail. Le travail taylorisé ne procure plus aucune satisfaction mentale à l'ouvrier. Du moins l'ouvrier en bénéficie-t-il au point de vue salaires? L'ouvrier médiocre, certainement; l'ouvrier instruit, rarement. A ce point de vue, un perfectionnement de ces méthodes, qui ravalent l'ouvrier instruit au niveau du manœuvre, est à souhaiter.

B. M.

***

L'Industrie de la Terpine, du Terpinéol et du Terpinolène.

On sait que les produits résineux et l'essence de térébenthine constituent une des principales richesses du Sud-Ouest de la France; parmi les dérivés de synthèses de l'essence de térébenthine deux produits ont pris une importance considérable dans certaines industries et notamment dans celle de la parfumerie : ce sont la terpine et le terpinéol, dont les procédés de préparation et les divers emplois ont fait l'objet, au dernier congrès internationnal du Pin, d'une communication dont nous extrayons les renseignements suivants :

La terpine a été obtenue pour la première fois en 1920, par Büchner, en hydratant les carbures de l'essence de térébenthine au moyen d'acides minéraux convenablement dilués; la terpine comprend deux molécules d'eau et par désydratation partielle, elle se transforme en terpinéol.

Industriellement, la terpine se prépare par l'action hydratante d'un acide étendu (qui est généralement l'acide sulfurique) sur le pinène; l'opération s'effectue dans des cuves de plomb, sur une masse liquide qui peut atteindre plusieurs tonnes : on procède à un brassage soigné dans ces cuves et la réaction s'amorce dès qu'une homogénéité suffisante est obtenue. Au fur et à mesure de la transformation, la terpine monte à la surface entraînant avec elle une petite quantité d'essence non encore hydratée. Pour obtenir industriellement un rendement du même ordre que celui que l'on peut obtenir en laboratoire (c'est-à-dire de l'ordre de 120 % par rapport à l'essence), il est indispensable de procéder à un brassage très énergique, tout en ayant recours à des solutions fortement concentrées; comme la réaction qui se produit est isothermique il est, d'autre part, indispensable de procéder à une réfrigération puissante, afin d'empêcher la formation de sous-produits.

Il existe deux variétés de terpine : la cisterpine et la transterpine; la première est la plus utilisée en médecine comme dans l'industrie. En médecine, la terpine constitue un médicament fréquemment employé, notamment dans les affections des voies respiratoires; pour cet usage, elle doit être préalablement purifiée au moyen d'un essorage puis d'un lavage; elle se cristallise dans l'eau bouillante et dans l'alcool en cristaux limpides et brillants. Dans l'industrie la terpine est surtout employée à la préparation du terpinéol.

Le terpinéol constitue l'alcool tertiaire de la série terpénique. Il en existe trois variétés différentes que l'on rencontre, en général, simultanément dans les terpinéols commerciaux, dont la densité est de 0,937 à 15°. La préparation du terpinéol s'effectue dans de grands alambics doublés de plomb, dans lesquels la terpine brute, provenant de l'essorage, subit à chaud une désydratation partielle, au sein d'une solution très faiblement acide; généralement constituée par de l'acide phosphorique à une concentration de 3 à 4 %. Cette opération doit être complétée par une rectification dans le vide qui permet d'éliminer les sous-produits nombreux et complexes qui prennent l'essence pendant la préparation. Les emplois industriels du terpinéol sont aujourd'hui extrêmement nombreux, surtout dans la savonnerie, en raison de la grande stabilité de ce corps vis-à-vis des alcalis et dans la parfumerie, où le terpinéol constitue la base des parfums de lilas, muguet, cyclamen, jasmin, et trouve également des applications dans la préparation des essences de trèfle, de mimosa, de géranium, de lavande, etc... C'est donc une matière première de grande importance dans l'industrie des parfums naturels et aussi dans celle des parfums synthétiques, car par éthérification, il donne divers éthers très appréciés, tels que les formiate, butyrate, et acétate de terpényle. D'autres industries utilisent ses propriétés solvantes, notamment pour la fabrication des vernis à l'essence, des vernis à l'alcool et de certains vernis gras; à froid il dissout les gommes demi-dures, et à chaud, les gommes dures; dans certains cas il peut servir à la fois de solvant, de plastifiant et d'antidépolissant.

Un autre sous-produit de la terpine fort intéressant, est le terpinolène; il est obtenu par désydratation totale de la terpine, sous l'action continue à chaud de l'acide sulfurique; il prend naissance comme sous-produit dans la fabrication du terpinéol. Ce corps, qui a été longtemps considéré comme un succédané de l'essence de térébenthine, possède des qualités solvantes et siccatives supérieures à celles de cette dernière; il s'oxyde, en effet, plus rapide-

ment pendant le séchage des pellicules de vernis; d'autre part, le terpinolène est un antiseptique puissant, doué de propriétés microbicides remarquables, notamment à l'égard du bacille de la tuberculose.

Les principaux pays producteurs de terpine et de ses dérivés, sont, par ordre d'importance; l'Allemagne, les Etats-Unis, l'Angleterre et la France; la consommation mondiale du terpinéol dépasse à l'heure actuelle 2.000 tonnes par an.

Sur ce total, la production française n'intervient que pour environ 150 tonnes, dont le tiers environ est exporté; par contre, la fabrication de l'Allemagne s'élève à 500 tonnes; alors que la France a une situation privilégiée au point de vue de la production d'essence de térébenthine, il est regrettable que, si bien placée pour la matière première, elle ne vienne qu'au quatrième rang pour la fabrication du terpinéol et il serait à souhaiter que cette industrie, aujourd'hui fort importante prenne une plus grande extension dans notre pays.

L. P.

***

Chauffage électrique des fours de boulangerie et de pâtisserie.

Il semble qu'il soit difficile pour l'électricité de se mettre en concurrence avec les fours chauffés au bois. On peut affirmer que cette concurrence est difficile, mais non impossible.

Le chauffage électrique des fours de boulangerie et de pâtisserie peut être obtenu par l'installation à la partie supérieure, près de la voûte, de résistances amovibles. Cette disposition permet d'utiliser les fours existants. Dans le cas d'une installation neuve, on peut envisager un four étudié spécialement, les résistances étant placées dans la voûte, l'accumulation de chaleur se faisant dans la maçonnerie de la voûte, dans les piédroits et dans la sole.

D'après les renseignements fournis par l'*Association suisse des Electriciens*, l'énergie consommée est d'environ 6 kw.-s. par mètre carré de suface de cuisson : avec cette puissance, il faut une heure et demie pour amener la température du four de 250 à 300° centigrades. Pour maintenir cette température pendant la cuisson, on n'a besoin que de 40 à 50 % de l'énergie nécessaire pour la mise en train, de façon qu'entre ces deux cuissons, il est parfaitement inutile de réchauffer le four : les fournées peuvent, grâce à ce dispositif, se succéder sans interruption, d'où un gain de temps fort appréciable. Pour les deux dernières fournées, on peut couper le courant, et la chaleur emmagasinée est suffisante pour assurer la cuisson du pain.

La consommation d'énergie électrique par kilogramme de pain varie entre 0 k.w.h. 35 et 0 k.w.h. 7 suivant les dimensions du four, le cube de la maçonnerie, les perfectionnements des installations et le nombre des fournées. On peut donc comparer l'exploitation d'un four chauffé électriquement avec celle d'un four chauffé au charbon.

Tous renseignements pris, la consommation en combustible pour ce dernier type, varie de 0 kg. 16 à 0 kg. 50 par kilogramme de pain. Donc, pour une même exploitation, le four au charbon le moins perfectionné, tel qu'il en existe dans les plus petits villages, peut être remplacé par un four électrique, à condition que le k. w. h. ne coûte pas plus que le kilogramme de charbon.

On peut remarquer que le bon rendement des fours électriques ne demande environ que 300 à 500 calories par kilogramme de pain, alors qu'avec le charbon, il faut en dépenser 2.000 à 3.000.

Dans les calculs précédemment indiqués, il n'a été tenu compte que des dépenses afférentes uniquement au chauffage, sans tenir compte des frais d'amortissement, des réparations et de l'entretien, ainsi que des avantages procurés par l'emploi de l'électricité, tels que la facilité de conduite du four, la souplesse procurée par la commande individuelle des divers éléments de chauffage, la régularité de température assurée par la constance du courant, l'utilisation aussi parfaite que possible de la chaleur produite, l'absence de tout combustible à manipuler, ce qui permet une certaine réduction du personnel. Il faut ajouter à ces avantages ceux présentés au point de vue de l'hygiène.

Il ne faut pas être surpris, dans ces conditions, que lors du dernier *Congrès de l'Electrification rurale*, l'emploi de fours électriques pour les boulangeries et pâtisseries de campagnes ait été particulièrement recommandé, d'autant plus que les producteurs de courant électrique y trouveraient une occasion exceptionnelle d'utiliser leurs déchets de courant.

L.

§ 4. — Agriculture.

Maturation des fruits par l'éthylène.

Au cours d'une mission aux Etats-Unis M. J. Dufrénoy [1] a eu l'occasion de constater l'emploi fort intéressant de l'éthylène, C^2H^4, pour obtenir soit la maturation des fruits tropicaux, cueillis verts en vue du transport, soit le blanchiment de légumes : le céleri.

Voici comment on procède. S'il s'agit de fruits, on empile les caisses dans une pièce comportant un faux plancher à claire-voie pour assurer la circulation de l'air autour des caisses qui sont elles-mêmes séparées par un espace d'environ huit centimètres.

Cela fait, la porte est fermée et l'on fait passer un jet du gaz (comprimé dans des bouteilles métalliques), en évitant de diriger l'éthylène directement sur les fruits. La quantité d'éthylène à employer est de un litre par cinq mètres cubes d'air.

La pièce est laissée fermée pendant huit heures, puis on aère en ouvrant la porte et en faisant fonctionner un ventilateur. Au bout d'une heure d'aération on

1. *Rev. de Bot. appliquée*, n° 95, 1929.

fait agir à nouveau le gaz éthylène pendant huit heures, comme précédemment, puis on aère.

Cette action de l'éthylène par périodes de huit heures doit être poursuivie jusqu'au moment où les fruits ont atteint une coloration satisfaisante, soit en 30 à 40 heures.

Il n'y a pas lieu d'essayer de provoquer la maturation des fruits qui exigeraient plus de 3 jours de traitement.

La température de la chambre de maturation doit être maintenue à 18° C. avec un degré hygrométrique de 85.

Avec les bananes vertes on peut, en présence de 1 millième d'éthylène, obtenir en 48 heures la couleur jaune qui ne serait atteinte qu'en quatre jours à l'air libre.

On remarque que les bananes traitées à l'éthylène ont une saveur plus sucrée et plus agréable. Sur ce point on peut être d'une opinion plus réservée; le parfum qui se dégage des régimes de bananes mûries sur la plante atteint, pour certaines variétés des Antilles par exemple, une intensité et une finesse que les procédés artificiels ne semblent pas pouvoir réaliser avec la même perfection.

On peut obtenir aussi la maturation au moyen d'autres carbures d'hydrogène non saturés : acétylène, propylène.

Le traitement par l'éthylène peut s'appliquer à de nombreux fruits, notamment les kakis, les dattes, les ananas.

Les fruits ne sont pas seuls susceptibles de profiter du traitement par les hydrocarbures.

Le céleri, dont les Américains font une énorme consommation comme hors-d'œuvre, soumis au traitement éthylénique blanchit rapidement : le gaz n'agit pas en détruisant la chlorophylle comme le ferait l'anhydride sulfureux, mais, sous son influence, la chlorophylle se décompose en même temps que l'amidon se solubilise et se transforme en sucre. Le céleri traité renferme 25 % de sucre de plus que le céleri qui n'a pas été soumis à l'action de l'éthylène.

Le céleri blanchi artificiellement reste blanc, même s'il est exposé pendant quinze jours à la lumière, cependant les feuilles qui apparaissent alors sont vertes.

Des expériences ont montré que les vitamines B du céleri ne sont pas altérées par le traitement.

M. R.

§ 5. — Sciences diverses.

Abandon progressif en France, de la production agricole pour la production industrielle.

On vient d'établir des statistiques, démontrant que la production agricole est en déclin et que l'industrie, en revanche, absorbe de plus en plus notre activité nationale. Après la guerre, en face des réclamations de main-d'œuvre réitérées par le service des usines et des chantiers sur tous les points de la zone dévastée, on a vu 50.000 travailleurs ruraux abandonner les champs pour les usines et chantiers, alors que le vide produit dans la population rurale par le décès de 1 million de paysans morts au champ d'honneur avait déjà fait subir un véritable désastre à nos campagnes.

L'immigration nous a, en effet, amené près de 1.400.000 étrangers, mais 1.400 seulement se sont dirigés vers les campagnes. On en a conclu qu'il y a un déficit permanent d'environ 1 million de ruraux supporté par nos campagnes. La conséquence, c'est la diminution du nombre d'hectares de terres cultivées en France. Malgré le retour des 452.000 hectares des terres d'Alsace-Lorraine, la superficie totale cultivée en blé s'est abaissée en chiffres ronds de 6.454.200 hectares à 5.487.000 hectares; en seigle, la superficie s'est abaissée de 1.175.000 à 577.000 hectares; en orge, de 760.000 à 507.000 hectares; en avoine, de 3.979.000 à 3.457.000 hectares; en maïs, de 4.580.000 à 348.000 hectares; en pommes de terre, de 1.548.000 à 1.497.000 hectares. Bref, la terre de France a perdu largement 10 % de sa capacité productrice. En revanche, l'activité industrielle a eu des progrès réellement surprenants : de 1913 à 1928, la fonte passe de 5.208.000 tonnes à 10 millions, acier de 4.088 tonnes à 14.300.000. Les produits chimiques, les matières colorantes, l'automobilisme ont subi une énorme progression, la mécanique et la chimie ont procédé dans leurs laboratoires à des travaux arrivant à décupler la puissance de notre main-d'œuvre. Il en résulte que notre pays essentiellement agricole ne s'oriente plus du côté de l'agriculture, et arrive à la surproduction industrielle, alors que l'homme vit de pain, de vin, de légumes, mais non de machines, d'électricité et d'autos. On doit regretter de voir la France délaisser l'agriculture pour l'industrie dont le marché général est congestionné et arrive ainsi à « s'américaniser ».

L.

LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX DANS LE CHAMP MAGNÉTIQUE

D'APRÈS LES TRAVAUX DE P. KAPITZA[1]

I. *Introduction.* — Les lecteurs de la Revue connaissent déjà[1] les progrès dus à la technique nouvelle introduite par Kapitza dans la production des champs magnétiques. Les champs magnétiques les plus intenses qui aient été obtenus jusqu'ici au moyen des électro-aimants sont de l'ordre de 50.000 gauss, et encore la valeur maximum du champ n'est-elle réalisée que dans un volume dont les dimensions utiles sont limitées à un petit nombre de millimètres. Il est vrai qu'on est arrivé récemment à mener à bonne fin en France, sous la direction de M. Cotton, la construction d'un électro-aimant d'une puissance exceptionnelle, qui semble en état de fournir dans un volume relativement grand des champs magnétiques supérieurs à ceux qui ont été réalisés auparavant. Ce type d'instrument, dont l'intérêt est à coup sûr considérable, permettra, il faut l'espérer, des études nouvelles d'une très grande portée. Il paraît particulièrement approprié à l'analyse de certains effets magnéto-optiques, dont la grandeur dépend au premier chef du produit du champ ou du carré du champ par l'épaisseur. La solution proposée par M. Kapitza est d'un tout autre ordre. La principale difficulté qu'on rencontre dans l'établissement d'un électro-aimant puissant réside dans l'énorme dépense d'énergie nécessaire à l'entretien du champ. Si on renonce à entretenir le champ au delà d'un temps très court, $1/100^{me}$ de seconde p. ex., il devient possible de mettre en œuvre pendant ce temps une quantité d'énergie bien supérieure à celle que consomme un électro-aimant en régime permanent. Il sera possible p. ex. d'envoyer dans un bobinage de dimensions restreintes des courants instantanés de *plusieurs milliers d'ampères* qui ne seraient pas tolérés d'une façon durable. Un solénoïde, même dépourvu de fer deviendra le siège, pendant $1/100^{me}$ de seconde, de champs magnétiques incomparablement plus forts que ceux auquels on arrive ordinairement. Il suffira ainsi de décharger pendant un temps très court une batterie d'accumulateurs à travers ce solénoïde, ou mieux de le court-circuiter sur un alternateur de puissance convenable, pour créer dans un volume assez grand un champ magnétique dont l'intensité atteindra *plusieurs centaines de milliers de gauss*. M. Kapitza travaille régulièrement avec des champs de 320.000 gauss. Ces champs extraordinairement intenses ne peuvent naturellement être employés qu'à l'étude de phénomènes quasi-instantanés, tels que le phénomène de Zeeman. L'application la plus fructueuse qui en ait été faite par l'auteur est l'étude des variations instantanées de résistance dans le champ magnétique. Cette étude l'a conduit à des résultats expérimentaux d'une forme tout à fait inattendue et dont la portée théorique est très grande. Nous nous proposons de résumer ici les deux séries de Mémoires qui ont été publiés par Kapitza (Proc. of the Roy. Soc. of London t. 119 et t. 123) et qui constituent un ensemble d'une réelle valeur démonstrative. Le lecteur verra jusqu'à quel point l'étude serrée d'un phénomène aussi particulier que la variation de résistance dans le champ magnétique peut éclaircir nos conceptions générales sur la nature même de la matière à l'état solide.

II. *Variation de résistance du bismuth dans le champ magnétique.* — La variation de résistance d'un fil métallique dans le champ magnétique est un phénomène connu depuis longtemps et qui a donné lieu à un très grand nombre de travaux. Ce phénomène paraît extrêmement général, presque tous les métaux ont une résistance qui augmente d'une façon mesurable lorsqu'on les soumet à un champ de quelques milliers de gauss. Mais tandis que les métaux usuels ne présentent que des variations de résistance faibles ou modérées, le bismuth se distingue par des variations de résistance d'une grandeur exceptionnelle. Déjà à la température ordinaire, la résistance du bismuth dans un champ de 40 kilogauss peut être multipliée par le facteur 4 ou 5; à la température de l'air liquide, ce facteur peut atteindre 200; si le champ magnétique s'élève jusqu'à 300 kilogauss (Kapitza), la résistance devient plus de 2.000 fois supérieure à sa valeur normale. On voit qu'il est tout indiqué, si l'on veut étudier les variations de la résistance métallique dans le champ magnétique, de commencer par s'adresser comme métal d'essai au bismuth. Ce corps se comporte, par rapport à la propriété qui nous intéresse, à peu près comme le fer par rapport à la propriété magnétique : l'un et l'autre métal présentent avec un ordre de grandeur inaccoutumée les effets qu'on retrouve à un degré moindre partout. De même que P. Weiss a fondé sa théorie

1. V. *Revue générale des Sciences*, t. XXXVIII, p. 649, 1927.

classique du champ moléculaire sur l'étude préalable des cristaux de pyrrotine, Kapitza a pensé que la théorie de la résistance métallique devait partir de l'étude des cristaux de bismuth. Les propriétés très marquées qui sont relativement faciles à saisir sur ce corps, s'étendront ensuite aux cristaux d'autres corps et aux agglomérats métalliques à cristaux multiples. L'expérience a montré la justesse de ces vues. La première série des Mémoires de Kapitza (1928), exclusivement consacrée aux recherches sur les variations de résistance des cristaux de bismuth, a fourni la clef du mécanisme général des variations de résistance dans le champ magnétique. Aussi est-il logique de suivre ici l'ordre historique ; c'est ce que nous allons faire en résumant d'abord les observations de Kapitza concernant le bismuth.

III. *Production de fils de bismuth monocristallins.* — Le bismuth est un corps qu'il est relativement facile d'obtenir à l'état monocristallin, et c'est évidemment sous cette forme qu'il convient de l'étudier d'abord, car on sait que la valeur de sa résistance spécifique varie très notablement suivant l'orientation cristalline, et l'influence de cette orientation se manifeste aussi immédiatement dans les mesures de variation de la résistance sous l'effet du champ. Le cristal élémentaire de bismuth est un rhomboèdre assez voisin du cube, présentant un clivage parfait suivant le plan perpendiculaire à l'axe ternaire qui est le plan d'une face pseudo-octaédrale, et des clivages imparfaits suivant les trois autres plans pseudo-octaédraux. Si on veut produire un fil de bismuth de 1 ou 2 mm. de diamètre et d'une dizaine de mm. de long qui soit tout entier fait d'un seul cristal, on peut employer l'une ou l'autre des méthodes décrites par Obréimov et Schubnikov, par Bridgman, par Czochralski, par Georgiev et Schmidt, etc., on peut p. ex. étirer du bismuth fondu au fur et à mesure qu'il se solidifie, ou solidifier du bismuth fondu dans un tube de verre (qu'on dissout ensuite dans l'acide fluorhydrique). Mais aucun de ces procédés ne donne un cristal unique parfait, et surtout aucun d'eux ne permet de préparer un fil ayant une orientation cristalline choisie à l'avance. Ainsi il n'a pas été possible de préparer de la sorte un fil dont le plan de clivage soit perpendiculaire à la longueur, l'angle des deux directions est au plus égal à 45° (au lieu de 90°). M. Kapitza, qui a fait une étude minutieuse de tous ces procédés, montre que l'homogénéité cristalline du bismuth est influencée très fortement par les tensions ou pressions qui peuvent prendre naissance au moment de la cristallisation : l'effet de ces tensions est de substituer, dans les parties du réseau cristallin qui y sont soumises, au plan de clivage parfait spécifié plus haut l'un quelconque des clivages imparfaits. Pour que les hétérogénéités de ce genre se produisent, il suffit des efforts que le cristal exerce sur lui-même au moment de l'étirage ou même par son seul poids. M. Kapitza en a conclu qu'il convient de préparer les fils monocristallins en position horizontale et non en position verticale : on obtient une homogénéité bien plus grande en refondant une baguette de métal posée librement sur une plaque de cuivre qu'en la refroidissant en la tenant dans une pince ou dans un tube. Grâce à des artifices longuement étudiés, M. Kapitza arrive à produire à coup sûr des tiges monocristallines dans toute leur longueur, l'axe du cristal faisant avec l'axe du fil un angle connu fixé à l'avance, et qui peut être p. ex. 1° ou 2°. La technique réussit d'autant mieux qu'on opère sur un métal mieux débarrassé de toute impureté : le bismuth pur de Hartmann et Braun s'est montré à cet égard nettement supérieur au bismuth pur de Kahlbaum.

IV. *Résistance des cristaux de bismuth.* — La résistance du bismuth cristallisé est plus grande dans la direction de l'axe ternaire que dans la direction perpendiculaire. Ce fait est bien connu depuis les travaux de Matteucci, Everdingen, Voigt, Lownds, Borélius et Lindh. Mais tandis que les nombres obtenus par ces auteurs présentent entre eux des écarts de 25 %, M. Kapitza est arrivé à réaliser des fils monocristallins assez parfaits pour qu'il puisse affirmer que la résistance du bismuth suivant l'axe ternaire est égale à $1{,}34.10^{-4} \pm 1$ % et perpendiculairement à l'axe $1{,}07.10^{-4} \pm 1$ % à 16°. Ces nombres ont été mesurés sur un petit nombre d'échantillons tout à fait purs. Sitôt que le réseau cristallin se déforme, soit sous l'effet d'actions mécaniques, soit par la présence d'impuretés incluses, la résistivité peut augmenter notablement par rapport aux limites indiquées ci-dessus. Les tensions créées au moment de la cristallisation sont à cet égard particulièrement nuisibles. Elles entraînent la formation de fissures microscopiques, qui se trahissent par le fait que la résistivité diminue lorsqu'on comprime très légèrement le cristal normalement au plan de ces fissures. L'origine de ces craquelures, qu'il est presque impossible d'éviter dans un fil monocristallin, est probablement une transformation cristalline du bismuth en une forme vraisemblablement cubique, avec contraction sensible du volume. Cette transformation qui se produirait à une température très voisine de la température de fusion, a déjà été proposée par Curie pour l'interprétation de certaines anomalies diamagnétiques. Bien qu'elle ne soit pas tout à fait démontrée, elle cadre parfaitement avec les nombreuses observations faites par M. Kapitza sur la formation de craque-

lures durant le processus de la cristallisation lente du bismuth. Quoi qu'il en soit, l'effet perturbateur dû à ces craquelures peut être éliminé au moyen de très légères compressions compensatrices, et la résistivité vraie du cristal parfait peut se mesurer alors avec exactitude, soit dans le sens de l'axe, soit dans le sens perpendiculaire. La présence de craquelures normales à l'axe se traduit naturellement par un clivage facile suivant leur plan. D'après M. Kapitza, un métal parfait, qui pendant un temps de l'ordre du 1/100me de seconde. Pendant un temps aussi court, la bobine n'a pas le temps de s'échauffer sensiblement et l'on n'a pas à craindre pour l'échantillon que l'on étudie de variation sensible de température. Ce sont là de très gros avantages de la méthode de M. Kapitza. Ces avantages sont achetés au prix d'assez grandes difficultés, qu'il a fallu surmonter par des artifices. D'abord la très courte durée dont on dispose oblige à synchroniser d'une façon rigoureuse le courant

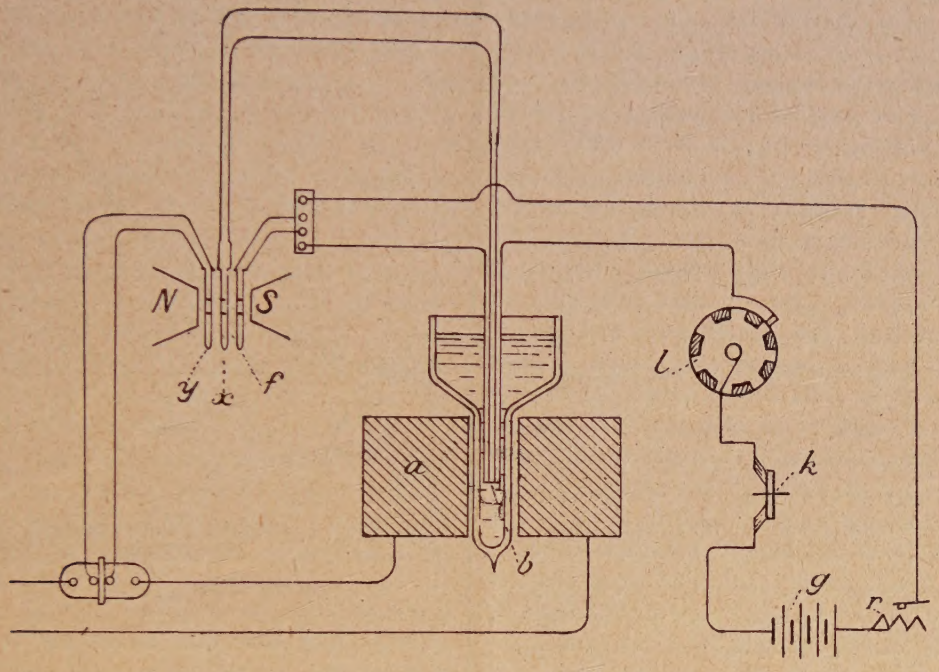

Fig. 1. — Dispositif de mesure.

serait dépourvu de craquelures, perdrait la faculté de se cliver suivant un plan privilégié. De fait, les cristaux préparés par M. Kapitza se sont montrés d'autant plus flexibles et mieux exempts de clivages qu'ils étaient plus parfaits. Les cristaux moins parfaits acquièrent rapidement une grande fragilité, qui leur est conférée par les hétérogénéités du réseau cristallin, par les impuretés chimiques, ou encore par les variations trop rapides du gradient de température au moment de la cristallisation.

L'étude systématique de tous ces facteurs a été faite par M. Kapitza avec un soin expérimental extrême, et le degré de perfection des cristaux qui ont servi aux mesures définitives ne paraît pas surestimé : il dépasse de beaucoup celui qui avait été atteint avant lui.

V. *Variations de résistance dans le champ magnétique. Dispositif expérimental.* — Les champs magnétiques très intenses mis en œuvre lorsqu'on envoie dans un solénoïde de cuivre le courant de court-cirquit d'un alternateur peuvent durer magnétisant d'une part et d'autre part le courant de mesure qui passe à travers le fil de bismuth. La fermeture et la rupture du courant magnétisant fourni par l'alternateur doivent être réglées à 1/5000 de seconde, sous peine de destruction de toute l'installation, et c'est le courant magnétisant lui-même qui doit manœuvrer au moment opportun la fermeture ou l'ouverture du circuit de mesure. Nous ne pouvons entrer ici dans les détails de construction des clefs et des relais qui ont permis d'arriver avec sécurité au résultat voulu. Une seconde difficulté provient de ce qu'il est nécessaire d'inscrire pendant 1/100me de seconde la valeur du courant de mesure I et celle de la différence de potentiel V aux bornes du fil (c'est le rapport de ces valeurs qui donne la résistance R), les deux grandeurs étant enregistrées à chaque instant sans retard ni distorsion. Seules les méthodes oscillographiques permettent d'atteindre ce résultat. En fait M. Kapitza emploie un oscillographe triple : dans l'entrefer d'un même électro-aimant sont suspendus trois cadres oscillographiques f, x, y,

(v. fig. 1), dont les déviations enregistrent respectivement I, V et le courant magnétisant. On obtient ainsi sur le même cliché 3 courbes dont les abscisses sont proportionnelles au temps et dont les ordonnées mesurent en valeur relative I, V et le champ magnétisant H. La valeur de la résistance R en fonction de H se déduirait immédiatement de ces courbes si l'on ne rencontrait ici une troisième difficulté, inhérente à l'emploi des champs magnétiques très intenses. Ces champs ont la propriété de créer dans le bismuth des forces contre-électromotrices assez notables et dont la formation nécessite un certain temps. Il en résulte que la courbe des V se trouve légèrement décalée et déformée par rapport à sa position théorique. Afin d'éviter cette cause d'erreur, M. Kapitza ouvre et ferme plusieurs fois, au moyen d'un commutateur à disque de construction spéciale, le circuit de mesure pendant la durée du champ magnétique. La courbe des V, au lieu d'avoir alors l'aspect d'une demi-sinusoïde complète, prend l'aspect d'une demi-sinusoïde plusieurs fois interrompue, et l'examen des amplitudes successives aux points d'interruption permet de connaître la valeur de la force contre-électromotrice et de l'éliminer. La figure 1 représente sommairement l'ensemble du dispositif de mesure. Le fil de bismuth, fixé dans un support spécial, est immergé dans un vase de Dewar qu'on place dans l'axe de la bobine magnétisante. De ce fil partent deux couples de connexions, qui vont les unes à la source du courant de mesure (batterie G) et au cadre oscillographique f (circuit des ampères), les autres au cadre oscillographique (x (circuit des volts). Les clefs de rupture et le commutateur spécial à disque sont figurés en k et l.

VI. *Résultats relatifs au bismuth.* — La variation de résistance des fils monocristallins de bismuth a été étudiée, pour différentes orientations du réseau cristallin, d'abord lorsque le champ magnétique est perpendiculaire au courant, ensuite lorsqu'il lui est parallèle. L'expérience a montré tout de suite que l'accroissement de résistance est incomparablement plus grand dans le premier cas que dans le second : alors que l'un des phénomènes est très gros, la résistance dans un champ magnétique perpendiculaire pouvant devenir 2.000 fois plus grande que la résistance primitive, l'autre est petit, le facteur d'accroissement ne dépassant guère 2 ou 3. Pour cette raison, les recherches les plus poussées ont été faites sur des fils de bismuth placés perpendiculairement au champ. Ce champ a varié de 0 à 320 kilogauss, un seul oscillogramme pris sous le champ maximum permet en principe de tracer la courbe complète des variations de R en fonction de H. Toutes les mesures ont été faites à 3 températures, la température ordinaire, celle de l'acide carbonique solide mélangé d'éther (— 80° C.), et la température de l'air liquide (— 182° C.).

La courbe de la figure 2 est une courbe typique où l'on a porté en abscisses, les champs magnétiques mesurés en kilogauss et en ordonnées les rapports R/R_0 de la résistance dans le champ magnétique à la résistance en dehors du champ. Nous

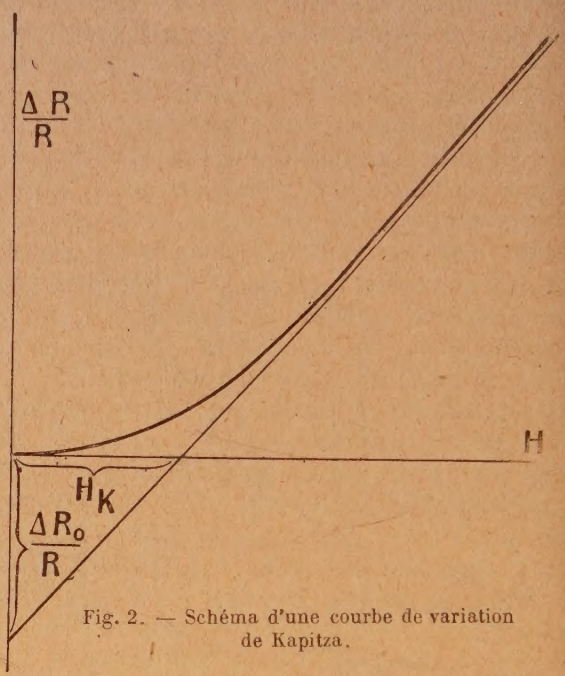

Fig. 2. — Schéma d'une courbe de variation de Kapitza.

verrons plus loin que toutes les courbes fournies par le bismuth (et par les autres métaux) présentent cette forme typique. Elles se caractérisent par une branche initiale à courbure parabolique (variation proportionnelle au carré du champ) se raccordant à une branche rigoureusement rectiligne (variation linéaire dans les champs intenses).

Les courbes sont très sensibles à l'action de la température. Celle-ci agit d'une part sur la valeur maximum du rapport R/R_0 qu'on obtient dans un champ magnétique donné, d'autre part sur l'intensité du champ magnétique qu'il est nécessaire d'employer pour passer de la région parabolique à la région linéaire.

Aux températures de 15°, — 80° et — 180°, les valeurs R/R_0 atteintes sous 320 kilogauss sont p. ex. 50, 450, 2.250. En même temps le champ minimum nécessaire pour atteindre la région linéaire, qui est de 70 kilogauss dans l'air liquide, de 120 kilogauss dans la neige carbonique, n'est pas encore atteint à la température ordinaire même sous 320 kilogauss.

Si on opère à une température fixe, p. ex. à celle de l'air liquide où les effets sont le plus marqués, on constate une variation relativement faible des

courbes représentatives en fonction de l'orientation cristalline. Les deux orientations étudiées principalement ont été celle où le plan de clivage parfait est perpendiculaire au courant et celle où il lui est parallèle. Ces deux orientations donnent lieu à des courbes similaires, mais c'est en général la première qui correspond aux effets les plus gros. Aussi est-ce surtout dans celle-ci (axe ternaire du cristal parallèle au courant et perpendiculaire au champ) qu'on a fait les mesures les plus complètes et étudié avec le plus de détail l'effet des impuretés chimiques et des imperfections du réseau cristallin. Cet effet est extraordinairement marqué. Des impuretés aussi minimes que celles qui distinguent le bismuth Kahlbaum du bismuth Hartmann et Braun suffisent à abaisser dans des proportions considérables la partie rectiligne des courbes représentatives, et cela d'autant plus qu'on opère à température plus basse et sous champ plus intense. D'autre part, le même bismuth Hartmann et Braun (l'échantillon le plus pur qu'on ait étudié) donne des courbes différentes selon qu'il a cristallisé sous forme de fil plus ou moins flexible. Deux fils de même substance, de même orientation cristalline, de même résistance en dehors du champ magnétique, mais inégalement flexibles, donnent des courbes de variation dans le champ magnétique qui se séparent d'autant plus vite et plus nettement les unes des autres qu'on opère à température plus basse. Tout indique que les échantillons les plus purs et les plus flexibles sont aussi ceux dont la résistance varie le plus dans le champ magnétique et approche le plus vite de la loi linéaire.

VII. *Les paramètres* α, β et H_K — Comme on l'a dit plus haut, il existe, malgré les écarts que nous venons de signaler, une très grande similitude générale dans toutes les courbes de variation de résistance du bismuth dans le champ magnétique. Un examen attentif de ces courbes montre que dans leur partie initiale elles suivent très exactement la loi quadratique

$$\Delta R/R_0 = \alpha H^2 \qquad (1)$$

et dans leur partie finale la loi linéaire

$$\Delta R/R_0 = \beta H \qquad (2)$$

R_0 désignant la résistance initiale, ΔR l'accroissement de résistance produit par le champ. Il est commode de caractériser chaque courbe (et chaque échantillon de fil monocristallin) par les constantes α et β, ainsi que par le champ magnétique critique H_K pour lequel la courbe cesse de suivre la loi (1) pour passer à la loi (2). Ce champ critique ne peut être donné qu'approximativement, car beaucoup de courbes ne présentent pas un coude très net. On verra qu'il est défini correctement par l'abscisse à l'origine de l'asymptote à la partie rectiligne de la courbe.

Nous pouvons maintenant résumer l'étude des influences dues à l'orientation, à la température, à la pureté chimique, à la perfection cristalline, en indiquant comment ces divers facteurs affectent les paramètres α, β et H_K.

1° Si, à température constante, nous modifions l'orientation du cristal, p. ex. en faisant tourner le fil autour de son axe nous constatons que nous modifions un peu la constante α de la loi quadratique, mais que la constante β de la loi linéaire demeure la même : aux champs intenses les droites représentatives restent toutes parallèles entre elles.

2° L'effet de la température est de produire essentiellement un accroissement très rapide de α et de β quand T diminue. Les expériences n'ayant été faites qu'à 3 températures, on ne peut préciser exactement la loi de variation de α et de β en fonction de T. Mais cette variation est au moins aussi rapide que celle de l'inverse de la 4me ou de la 5me puissance de la température absolue. Il est possible qu'elle soit exponentielle.

3° L'effet des impuretés chimiques ne se manifeste guère sur le coefficient α, tant qu'il s'agit seulement d'impuretés aussi petites que celles qui souillent les corps chimiques réputés purs. On s'explique ainsi que les anciens expérimentateurs n'ayant étudié que la partie initiale des courbes représentatives (champs modérés), aient trouvé des lois quadratiques compatibles entre elles pour tous les échantillons. Mais aux champs intenses les impuretés même très faibles affectent β et H_K, ces deux paramètres diminuent alors sensiblement.

4° L'influence de la perfection du réseau cristallin (absence de craquelures, de macles, de distorsions locales, etc.) affecte exclusivement la valeur du champ critique H_K, elle ne touche pas les coefficients α et β.

On peut alors s'imaginer de la façon suivante comment un cristal se comporte sous l'effet des diverses causes qui peuvent troubler l'arrangement de son réseau, savoir 1° l'agitation thermique, 2° les impuretés chimiques, 3° les imperfections de cristallisation, 4° les efforts mécaniques.

A la température ordinaire, la perturbation du réseau par suite de l'agitation thermique joue le rôle essentiel, les autres facteurs n'ont pas d'influence marquée : tous les cristaux à cette température donnent des courbes initiales semblables.

A la température de CO_2, l'effet des impuretés chimiques du cristal devient comparable à celui

de l'agitation thermique; les courbes du bismuth pur et du bismuth impur commencent à se séparer. Les imperfections de cristallisation deviennent également sensibles, et les cristaux flexibles se comportent autrement que les cristaux fragiles.

Enfin, à la température de l'air liquide, l'agitation thermique et les impuretés chimiques ne jouent plus qu'un rôle très faible; seule la perfection cristalline entre en ligne de compte, et les courbes deviennent extrêmement sensibles, comme l'a observé M. Kapitza, aux moindres tensions parasites subies par le cristal.

On peut se demander si les meilleurs cristaux utilisés par M. Kapitza étaient assez voisins du cristal « idéal » pour que les valeurs α, β et H_K déduites de ses mesures puissent être considérées comme constantes caractéristiques du bismuth. La discussion faite par l'auteur montre qu'il en est certainement ainsi pour α et β. Une incertitude beaucoup plus grande règne sur la valeur « idéale » à donner à H_K. Le champ critique H_K, qui a été trouvé égal à 100 kilogauss pour le meilleur échantillon étudié, pourrait être plus grand pour le cristal idéal.

Malgré l'imprécision qui subsiste sur la valeur numérique de H_K, l'existence seule d'un champ critique séparant la partie quadratique et la partie rectiligne de la courbe est un fait remarquable qui paraît d'une signification théorique importante. Au-dessous du champ critique, le cristal suit une loi quadratique de changement de résistance, loi dont le coefficient α dépend à un haut degré de l'orientation du cristal, tandis qu'après le champ critique nous avons une loi linéaire qui est la même pour toutes les orientations du cristal, s'il est fait du même bismuth et pris à la même température. Ceci suggère que dans la région de variation linéaire qui suit le champ critique, les conditions du mouvement des électrons sont les mêmes dans tous les cristaux et pour toutes les orientations. Il semblerait donc qu'au-dessus du champ critique l'influence des atomes voisins sur le mouvement des électrons, qui dépend de la symétrie du réseau cristallin, disparaît. Ce changement ou réarrangement produit par le champ, quel qu'il soit, a lieu probablement pendant que le champ magnétique croît de 0 à H_K sur la partie quadratique de la courbe. La facilité avec laquelle le réarrangement a lieu dépend non seulement de l'orientation initiale du cristal par rapport au champ, mais aussi de sa perfection. Les impuretés et les imperfections cristallines qui troublent le réseau rendent le réarrangement plus facile et diminuent la valeur de H_K.

VIII. *Comparaison avec la théorie de la conductibilité métallique.* — La variation de résistance d'un fil de bismuth dans le champ magnétique a aussi été étudiée dans le cas où le champ magnétique est parallèle au fil. Comme on l'a dit plus haut, l'effet dans ce cas est relativement faible, la résistance ne passe dans les champs les plus intenses qu'à une valeur double ou triple de sa valeur initiale, et les courbes représentatives, au lieu de monter régulièrement, tendent nettement vers une « saturation ». De plus les différences qu'on observe d'une courbe à l'autre semblent dues tout entières aux imperfections du métal ou au défaut de parallélisme du champ à l'axe du fil. En somme, l'effet magnétique pur est dans ce cas extrêmement petit et les causes parasites paraissent suffire à expliquer les variations observées.

Il en est de même pour les phénomènes que présentent les couches minces de bismuth obtenues par sublimation dans le vide ou par pulvérisation cathodique. Ces couches, qui n'ont rien de monocristallin, ont une résistance très peu variable avec le champ magnétique, et M. Kapitza suggère de les rapporter à une variété « amorphe » de bismuth, qui se transformerait par élévation de température en la variété cristallisée ordinaire.

Quoi qu'il en soit, si l'on s'en tient pour plus de simplicité aux phénomènes très marqués présentés par les fils monocristallins perpendiculaires au champ, il y a lieu de noter que le bismuth se comporte dans le champ magnétique d'une façon peu compatible avec les lois de la théorie électronique. Celle-ci, qui a été développée en grand détail par Lorentz, repose essentiellement sur l'idée que la chaleur de Joule corrélative de la résistance ohmique représente l'énergie cédée par les électrons libres au moment de leurs chocs contre les molécules du métal.

Cet échange d'énergie est déterminé en premier lieu par la longueur du « parcours libre » des électrons dans le métal. Qu'on adopte avec Lorentz la statistique classique de Boltzmann ou avec Sommerfeld la statistique, probablement plus rationnelle, de Fermi, les formules finales ne sont pas très grandement modifiées, on trouve toujours une résistivité proportionnelle au carré du libre parcours moyen. Les variations de cette résistivité, telles qu'elles ont été calculées par Gans, s'expriment par une formule quadratique en fonction du champ. Cette formule n'est malheureusement en accord quantitatif avec l'expérience ni dans le cas de l'argent ni dans celui du bismuth. Pour l'argent, comme le note Sommerfeld lui-même, la variation calculée est au moins 10.000 fois plus faible que la variation observée; pour le bismuth, la formule de Sommerfeld-Gans ne représente quantitativement l'expérience de Kapitza que si

l'on admet un parcours moyen des électrons supérieur à 1 cm., nombre vraiment inacceptable.

Outre ce grand désaccord numérique entre l'expérience et la théorie, il y a un autre désaccord, plus remarquable encore : la théorie ne prévoit que des lois de variation quadratiques de la résistance en fonction du champ, c'est-à-dire ne s'applique qu'à la partie initiale des courbes de Kapitza. Cette partie se prolonge, nous le savons, par une zone beaucoup plus importante de variation rigoureusement linéaire. Sur cette variation linéaire la théorie électronique des métaux ne dit rien, et pourtant il semble bien qu'elle soit le phénomène essentiel, dont la loi quadratique donne seulement l'amorce.

IX. *Variation de résistance des métaux autres que le bismuth.* — Arrivé à point, M. Kapitza a jugé nécessaire de voir si les lois auxquelles obéit la variation de résistance du bismuth dans le champ magnétique sont spéciales à ce métal ou si elles s'étendent à tous les éléments conducteurs du Tableau périodique. Le fait que la loi de variation linéaire dans les champs intenses n'est influencée ni par l'orientation ni par le degré de perfection du cristal donne à penser qu'il s'agit ici d'un effet purement atomique, et il était intéressant de savoir si cet effet était d'un caractère général. Dans la nouvelle série de travaux qu'il a publiés en 1929, M. Kapitza s'est attaqué à la presque totalité des éléments chimiques susceptibles d'être préparés sous forme de fils conducteurs. Cette série de recherches à cause de son étendue même ne pouvait être entreprise avec les mêmes raffinements de précision qui avaient été exigés dans l'étude du bismuth. En particulier, on a renoncé à l'emploi de fils monocristallins pour se limiter à l'étude de fils cristallisés aussi purs que possible. La multiplication des mesures n'a pas non plus été poussée aussi loin que dans le cas du bismuth, une erreur de quelques unités pour cent a été tolérée, car elle ne pouvait modifier l'allure générale des courbes représentatives qui fait l'objet essentiel de cette nouvelle étude. Bien entendu, les grandes variations spécifiques de la résistance quand on passe de certains éléments chimiques à d'autres a nécessité de nouveaux perfectionnements dans le dispositif de mesure, en particulier l'intercalation d'un transformateur sans distorsion dans le circuit oscillographique des volts. Le lecteur se référera aux Mémoires originaux pour juger de la somme d'ingéniosité et de patience dont M. Kapitza a dû faire preuve pour mener à fin d'aussi difficiles recherches. Disons tout de suite que le résultat général a été celui que nous avons fait pressentir : tous les métaux, à part de très rares exceptions, possèdent la même loi de variation de résistance que le bismuth dans le champ magnétique.

On trouvera ci-dessous la liste des corps qui ont été étudiés par M. Kapitza. Ces corps ont été obtenus avec le plus haut degré de pureté chimique réalisable actuellement, et M. Kapitza indique toujours l'origine et l'analyse des métaux qu'il a employés. Une pureté de 99% est totalement insuffisante, et les éléments dont la pureté ne dépassait pas ce titre n'ont pas été jugés dignes d'une étude approfondie. Une pureté minimum de 99,9% est requise pour que les phénomènes apparaissent avec leur netteté théorique, et dans les cas les plus favorables la pureté atteignait 99,99% Par analogie avec le cas du bismuth, et par anticipation sur les résultats dont nous allons parler, les courbes expérimentales ont été représentées dans les deux régions parabolique et linéaire par les deux équations

$$\Delta R/R = \beta H^2 \quad 3H_K \qquad H \leq H_K$$
$$\Delta R/R = \beta(H - H_K + H_K/3H^2) \qquad H \geq H_K$$

qui donnent deux portions de courbe se raccordant d'une façon continue. Le problème expérimental qu'avait à résoudre M. Kapitza était la détermination de β et de H_K pour chacun des métaux du Tableau périodique. Cette détermination a été faite de préférence sur la courbe obtenue à la température de l'air liquide, qui est plus accentuée que la courbe de l'acide carbonique solide et que la courbe prise à la température ordinaire. Souvent les deux dernières n'ont pas pu être tracées, à cause de la petitesse extrême des effets. A l'air liquide on a substitué parfois l'azote liquide, qui a l'avantage de donner une température plus fixe (indépendante de la concentration en oxygène) et l'avantage encore plus grand de ne pas subir au moment de l'établissement du champ une « poussée magnétique » très notable (3 kg. par cm²), pouvant entraîner des déformations du fil.

Parmi les éléments de la première famille, ont été étudiés Li, Na, Ag, Au et Cu. La variation de résistance, même dans un champ de 320 kilogauss, ne dépasse pas quelques dixièmes. Les phénomènes sont particulièrement sensibles au degré de pureté et à l'état d'écrouissage.

Dans la seconde famille, on a pu étudier des fils de Mg, Zn, Cd et Hg. Le glucinium, bien que sa pureté ne dépassât pas 99,8%, a aussi été soumis à une étude serrée, car il présente l'effet maximum parmi les métaux de sa famille. Les effets sont plus grands que pour les alcalins.

Dans la 3me famille, l'Al et le Tl ont été obtenus avec un degré de pureté suffisant pour permettre une étude méthodique. Le Ga et l'In ont été mesurés sous une forme moins pure. Les effets observés

sur les métaux terreux, surtout sur Ga et In, sont extrêmement faibles.

Dans la 4me famille, on a obtenu à l'état pur Pb, Sn, Zr et Th, à un degré de pureté moindre le germanium et le graphite. Des courbes du type normal ont été obtenues pour tous ces éléments, les courbes relatives au germanium et au graphite s'incurvent cependant vers le bas dans les champs intenses,, par l'effet des impuretés résiduelles.

La 5me famille est celle qui contient le bismuth, c'est-à-dire l'élément qui donne de beaucoup les phénomènes les plus intenses. Des effets moindres, mais encore relativement gros, ont été observés sur As et Sb. Le vanadium et le tantale n'ont donné que des effets minimes.

Dans la 6me famille, Cr, Mo et W ont donné lieu à des accroissements de résistance relativement très grands. Le tellure a également été étudié, mais les courbes qu'il fournit se sont montrées fortement anormales, sans doute parce que cet élément est plutôt un semi-isolant qu'un conducteur.

Dans la 7me famille, on n'a pu étudier que Mn, et cela encore sur un échantillon très dur et très fragile, qui n'a pas pu donner lieu à des mesures bien définies.

La dernière famille contient Fe, Ni, Pd et Pt, qui seuls ont pu être obtenus sous forme de fils très purs. Les effets observés sur ces métaux sont extrêmement petits. Le nickel présente une anomalie considérable, en ce sens que sa résistance *diminue* dans le champ magnétique. Il serait intéressant de savoir si cette anomalie est en rapport avec les propriétés ferromagnétiques.

Les résultats qui précèdent, obtenus dans un champ magnétique perpendiculaire au fil, sont généralement confirmés dans un champ parallèle. Il est à noter que les 2 groupes d'éléments qui fournissent les plus grandes variations de résistance sont l'un formé de métaux diamagnétiques (As, Sb, Bi), l'autre de métaux fortement paramagnétiques (Cr, Mo, W). On voit que la variation de résistance dans un champ magnétique ne semble pas liée d'une façon directe aux propriétés diamagnétiques et paramagnétiques des atomes.

X. *Théorie de M. Kapitza.* — Le fait essentiel qui résulte de l'ensemble des recherches précédentes est la confirmation du résultat qui a déjà été établi dans le cas du bismuth : l'accroissement de résistance des métaux dans le champ magnétique commence par être proportionnel au carré du champ, mais à partir d'un champ critique Hκ, qui peut varier suivant les substances de 5 à 250 kilogauss, il change d'allure et devient proportionnel au champ. Le phénomène est si général qu'on doit lui chercher une cause générale. L'explication naturelle serait qu'aux champs faibles, au-dessous du champ critique Hκ, *quelque chose* empêche l'apparition de la loi linéaire, qui est la loi vraie, n'entrant pleinement en vigueur que bien au-dessus du champ critique. M. Kapitza fait l'hypothèse qu'il existe initialement dans le cristal une cause perturbatrice représentable par un vecteur h dont l'orientation est distribuée au hasard dans le conducteur. Ce vecteur agirait sur la résistance à la façon d'un champ magnétique ordinaire, ce serait une sorte de champ perturbateur interne. En présence d'un champ magnétique extérieur H, les vecteurs h et H se composent pour donner une somme vectorielle H' qui détermine la variation effective de résistance. Il est évident que de cette façon on retrouvera le caractère général des courbes : quand la perturbation produite par le champ extérieure devient grande par rapport à celle due au champ interne, nous nous approchons graduellement de la loi linéaire.

Il est facile de donner à l'hypothèse précédente une forme mathématique se prêtant à des calculs simples. Si le vecteur h est normal au courant I, nous poserons qu'il produit un accroissement relatif de résistance égal à $\beta_n h$, s'il est parallèle à I, l'accroissement sera $\beta_p h$. Si le vecteur h fait l'angle α avec le courant I, on prouve facilement que l'accroissement relatif de résistance sera

$$\beta_p h \cos^2\alpha + \beta_n h \sin^2\alpha$$

et si, comme nous l'avons supposé, l'angle α varie au hasard, la variation totale de résistance ΔR_o due à l'ensemble des perturbations incohérentes créées par tous les vecteurs h sera donnée par la formule

$$\Delta R_o/R_i = 1/2 \int_o^\pi (\beta_p h \cos^2\alpha + \beta_n h \sin^2\alpha) \sin\alpha \, d\alpha \quad (1)$$

R_i représente ici la résistance *idéale* qu'aurait le conducteur en l'absence de toute perturbation ; ΔR_o est la résistance *additionnelle* due à la perturbation. L'intégration de la formule précédente donne aisément le résultat

$$\Delta R_o/R_i = 1/3\,(2\beta_n + \beta_p). \quad (2)$$

Si maintenant il existe un champ magnétique extérieur H (se composant avec h pour former la résultante H'), un raisonnement semblable monque la nouvelle variation $\Delta R'$ sera donnée par la formule un peu plus compliquée

$$\Delta R/R_i = 1/4\pi \int\int (\beta_n H \cos^2\alpha + \beta_p H \sin^2\alpha) \sin\gamma \, d\gamma \, d\theta \quad (3)$$

γ et θ représentant les angles d'Euler qui déterminent l'orientation de h par rapport à la direction du courant I. Ici l'intégration ne peut se faire simplement que dans les deux cas limites $H \leq h$ et $H \geq h$. On trouve par un calcul d'approximation facile

$$\Delta R'/R_i = \beta_n h\,(1 + H^2/3h^2) - 1/3\,(\beta_n - \beta_p) h\,(1 - H^2/5h) \quad H \leq h$$
$$\Delta R'/R_i = \beta_n H(1 + h^2/3H^2) - 1/3(\beta_n - \beta_p) h^2(1 - h^2/5H) \quad H \geq h$$

Il est évident que l'accroissement de résistance ΔR dû au champ externe seul est

$$\Delta R = \Delta R' - \Delta R_0 \qquad (4)$$

et par suite d'après (2)

$$\Delta R/R_i = \beta_n H^2/3h\,(1+1{,}5\,\frac{(\beta_n-\beta_p)}{\beta_n} \qquad H \leq h$$

$$\Delta R/R_i = \beta_n(H+h^2/3H-h)+\frac{(\beta_n-\beta_p)}{3}(h-h^2/H+h^3/3H^3) \qquad H \geq h$$

Le calcul précédent a été fait dans le cas où le fil est perpendiculaire au champ magnétique H. On établirait des formules tout à fait voisines dans le cas où le fil serait parallèle au champ. Les unes et les autres se simplifient considérablement dans le cas, pratiquement réalisé avec la plupart des métaux, où $\beta_n = \beta_p = \beta_0$.

On trouve alors en posant $h = H_K$,

$$\begin{aligned} \Delta R/R_i &= \beta_0 H^2/3H_k & H \leq H \\ \Delta R/R_i &= \beta_0(H+H_k/3H^2 - H_k) & H \geq H \end{aligned} \qquad (5)$$

et ces formules sont très semblables à celles qui ont été suggérées par l'expérience dans les paragraphes précédents. La seule différence est que les variations relatives données par (5) sont rapportées à la résistance idéale R^i, alors que les variations mesurées au § IX sont rapportées à la résistance totale R. La correspondance entre les formules du § IX et les formules théoriques (5) s'établit simplement en remarquant que

$$\begin{aligned} R_i &= (1 - \beta H_k)R \\ R_0 &= \beta(1 - \beta H_k) \end{aligned} \qquad (6)$$

En fait, les formules (5) sont celles qui s'adaptent le mieux à l'interprétation théorique des résultats. On voit sur ces formules que β_0 représente le coefficient angulaire de l'asymptote à la courbe et que $\Delta R_0/R_i$ n'est autre chose que l'ordonnée à l'origine de cette même asymptote.

M. Kapitza a envisagé aussi le cas où, au lieu d'avoir $\beta_n - \beta_p = 0$, on aurait par exemple : $\beta_n = 0$ ou $\beta_p = 0$ (ce dernier cas semble être celui qui est réalisé avec le bismuth). Il montre que les formules ne subissent que des modifications légères et que l'allure générale des phénomènes demeure la même.

XI. *Comparaison de l'expérience avec la théorie.* — Conformément à ce qui vient d'être dit, les courbes théoriques données par les formules (5) peuvent être comparées avec sécurité aux courbes expérimentales. Bien que certains métaux (Cu, Cd, Al, Ca, Mo) possèdent un rapport β_p / β_n, inférieur à l'unité, il est facile de montrer que les écarts de ce rapport n'influent pas sensiblement sur la précision avec laquelle on tire des courbes expérimentales, les valeurs de la résistance idéale R_i et de la résistance additionnelle ΔR_0. Les hypothèses autres que celles de la distribution fortuite qu'on peut faire sur l'orientation du vecteur h sont également sans grande influence. Seule la détermination du champ critique H_K est entachée d'une incertitude appréciable du fait des approximations admises dans la théorie. Lorsque H_K est voisin de 50 kilogauss, on peut supposer sa valeur correcte à 5 % environ ; mais lorsqu'il atteint 200 kilogauss, l'erreur peut s'élever jusqu'à 30 %. Ces circonstances n'empêchent pas d'établir avec une netteté absolue les résultats suivants :

1° La résistance additionnelle ΔR_0 d'un fil métallique dépend à un haut degré de l'état physique et mécanique de ce fil. Selon qu'un fil de cuivre est dur, semi-dur ou recuit, sa résistance additionnelle peut varier dans le rapport de 1 à 2, 5.

2° Dans les mêmes circonstances, la résistance idéale R_i demeure au contraire presque rigoureusement constante. Elle paraît être une constante spécifique du métal pour chaque température, tandis que la résistance additionnelle, due au champ perturbateur h, est naturellement la plus grande quand l'état de contrainte du fil est le plus grand (métal trempé).

3° La résistance idéale est la même dans un champ magnétique perpendiculaire et dans un champ parallèle au fil. La résistance additionnelle ΔR_0 peut être modifiée quand on passe d'une position à l'autre.

4° La résistance additionnelle varie, mais dans des limites restreintes, lorsque l'on passe de la température ordinaire à celle de l'air liquide. La résistance idéale au contraire, qui est indépendante de l'orientation et de l'état mécanique du métal, semble fonction de la température seule. Les courbes montrent qu'elle est une fonction très rapidement décroissante quand on passe de la température ordinaire à celle de l'air ou de l'azote liquide.

XII. *Résistance additionnelle et Résistance résiduelle.* — On sait qu'un métal trempé a une résistivité plus grande qu'un métal écroui, et que cette résistivité diminue plus vite quand la température s'abaisse. On sait de plus qu'en refroidissant un métal jusqu'au voisinage du zéro absolu, pendant les 10 ou 20 derniers degrés la résistance ne varie presque plus et prend une valeur fixe que K. Onnes appelle *résistance résiduelle*. L'expérience montre que la résistance résiduelle est très sensible à l'état physique de la substance, elle augmente quand celle-ci est trempée ou impure. On voit qu'il y a une grande analogie entre la résistance résiduelle de K. Onnes et la résistance additionnelle ΔR_0 de Kapitza. Nous allons voir que cette analogie est très probablement une identité.

K. Onnes et Clay, puis Nernst, ont déjà montré

que la seule étude des variations de résistance aux basses températures permet de séparer dans la résistance ordinaire une partie « idéale » R_i qui est fonction de T seulement et une partie résiduelle qui dépend de l'état physique du métal. Les données numériques rassemblées par K. Onnes et Tuyn et qui comprennent un très grand nombre de métaux peuvent être réunies en un Tableau où l'on inscrit en regard de chaque métal la valeur de R/R_0, R désignant la valeur de la résistance à la température de l'hydrogène liquide et R_0 la résistance à 0 degré C. (ou pratiquement la résistance à la température ordinaire). Les nombres observés par K. Onnes et Tuyn sur différents échantillons d'un même métal sont compris entre deux limites généralement assez voisines qui ont été inscrites dans le Tableau. Si en regard de ces nombres on place les valeurs de $\Delta R/R_0$ telles que les fournit l'étude des variations dans le champ magnétique (ordonnées à l'origine des courbes de Kapitza), on constate un parallélisme frappant entre les deux séries. Les résistances additionnelles de Kapitza sont presque toujours comprises entre les limites des résistances résiduelles de K. Onnes, leur valeur numérique est souvent presque la même, enfin lorsque cette valeur varie selon l'état physique du métal étudié, la variation est encore la même dans les deux cas :

Métal	K. Onnes et Tuyn	Kapitza
Li	0,007	0,01
Cu	0,024 — 0,0015	0,023 — 0,018
Ag	0,023 — 0,0054	0,015 — 0,013
Au	0,045 — 0,008	0,016 — 0,012
Zn	0,016 — 0,007	0,05 — 0,014
Cd	0,024 — 0,02	0,027 — 0,009
Hg	0,049	0,037
Al	0,06 — 0,04	0,024 — 0,011
In	0,06 — 0,03	0,032
Tl	0,03 — 0,029	0,0163
Sn	0,012 — 0,011	0,018
Pb	0,047 — 0,03	0,04
Pd	0,051 — 0,009	0,006
Pt	0,02 — 0,006	0,011

La conclusion s'impose : il y a identité entre la résistance additionnelle de Kapitza et la résistance résiduelle trouvée par K. Onnes à la température de l'hydrogène liquide.

XIII. *Résistance additionnelle et Supraconductivité.* — Le Tableau précédent montre que les métaux supraconducteurs (Hg, Tl, Sn, Pb, In) ne se distinguent pas essentiellement des autres. Leur résistance additionnelle ΔR_0 est tout à fait comparable avec la résistance résiduelle qu'ils conservent jusqu'au seuil de la supraconductivité. Ceci indique clairement que le phénomène de la supraconductivité consiste essentiellement dans la disparition de la résistance additionnelle ΔR_0, la résistance se réduisant à ce que nous avons appelé la résistance idéale R_i. Dans ces conditions on est obligé de penser que la supraconductivité doit être un phénomène tout à fait général, devant appartenir en principe à tous les métaux. Tous les métaux possèdent une résistance additionnelle, due à leur structure physique et chimique, résistance que nous savons faire disparaître aux très basses températures pour les métaux dits supraconducteurs ; si la nature nous avait mis en mesure d'annuler la résistance additionnelle d'autres corps, ceux-ci deviendraient également supraconducteurs. Comme ils ne posséderaient plus que leur résistance idéale et que celle-ci décroît exponentiellement avec la température, d'autant mieux que le métal est plus léger, on doit prévoir que les métaux légers, s'il était possible de leur enlever leur résistance additionnelle, deviendraient encore meilleurs supraconducteurs que les autres. Peut-être ce résultat pourra-t-il être atteint lorsque nous posséderons ces éléments sous forme de fils monocristallins rigoureusement purs, parfaitement flexibles et sans distorsion.

On sait quelle grande influence exerce d'après K. Onnes un champ magnétique extérieur sur la disparition de la supraconductivité. C'est là un fait qui cadre parfaitement avec les idées de Kapitza, le champ H pouvant créer un commencement de résistance additionnelle, comme le fait le champ perturbateur *h*.

Si la supraconductivité semble devoir être une propriété commune à tous les métaux purs, ceux-ci ne peuvent plus se distinguer individuellement que par les valeurs du coefficient β qui mesure la pente de l'asymptote aux courbes de Kapitza et donne la rapidité d'accroissement de la résistance aux champs intenses à une température donnée. Le coefficient β est fonction de la température et augmente très vite quand la température s'abaisse. On peut essayer de comparer les coefficients β (ou mieux les β_0 qui leur sont liés par la relation (6) pour divers métaux à la même température, et l'on obtient alors, comme l'a fait voir M. Kapitza, une périodicité marquée de β_0 lorsqu'on parcourt les familles successives du Tableau périodique ou les éléments successifs d'une même famille. La 2me famille (Mg, Zn, Cd) présente un maximum très marqué de β_0 tandis que les groupes de transition (comme Ti, V, Fe, Ni, Zr et Ta) ont une valeur de β_0 si petite qu'elle n'a pu être mesurée avec précision. Les métaux Cr, Mo, W forment exception comme nous l'avons dit : leurs valeurs de β_0 sont aussi grandes que dans la 2me famille. Le groupe As, Sb, Bi a aussi des valeurs de β_0 anormalement grandes, ce que M. Kapitza essaye de rattacher à la nature

amphotère de ces éléments, qui existent sous deux états allotropiques, l'un isolant, l'autre conducteur. Des régularités intéressantes s'observent également si l'on étudie, au lieu de β_0 l'accroissement $\Delta Ra/R$ de résistance *par atome*. On a $\Delta R = \beta_0 A/D$ (A = masse atomique, D = densité). Le paramètre ΔRa ne varie que peu dans chaque colonne du Tableau périodique. On en conclut que la *résistance idéale atomique* augmente lorsqu'on passe des éléments lourds aux éléments légers.

XIV. *Conclusion.* — Si nous voulions être complet, nous devrions encore parler des discussions très suggestives auxquelles se livre M. Kapitza à propos des éléments de la famille du bismuth, des semi-conducteurs et des alliages. Nous préférons renvoyer le lecteur au Mémoire original sur ces points spéciaux.

Nous terminerons, comme le fait l'auteur lui-même, en indiquant quelques considérations théoriques inspirées des résultats qui précèdent et en recherchant si ces considérations s'accordent avec l'une ou l'autre des théories régnantes sur la conductibilité métallique.

Le travail de M. Kapitza se résume principalement dans les deux points suivants : 1° *Etablissement d'une loi nouvelle* régissant le phénomène de variation de résistance dans le champ magnétique ; 2° *Séparation de la résistance totale en deux constituants*, la résistance *additionnelle* et la résistance *idéale*, dont chacune nécessite un mécanisme spécial.

La Loi nouvelle nous apprend que *l'accroissement de résistance dans un champ magnétique (intense) est directement proportionnel à la première puissance du champ.* Ceci est vrai que le champ soit transversal au fil ou qu'il lui soit parallèle. La raison qui avait empêché d'observer ce fait jusqu'ici, c'est qu'il existe initialement dans le métal des perturbations semblables à celles que crée un champ magnétique, et pour éliminer l'effet de ces perturbations il fallait réaliser des champs magnétiques plus intenses que ceux des électro-aimants.

Les théories du changement de résistance des métaux (J. J. Thomson, Gans, Sommerfeld) sont fondées sur l'hypothèse que les parcours des électrons libres sont déviés dans le champ magnétique. Les résultats du calcul sont d'accord avec l'expérience en ce qu'ils prédisent une variation quadratique en fonction du champ (faible) ; ils sont incompatibles avec l'expérience en ce qu'ils conduisent à des effets beaucoup trop petits. Ceci montre que les effets *n'ont pas leur cause* dans une déviation des électrons.

Quel est donc, des éléments de calcul qui interviennent dans les théories modernes de la conductibilité, celui qui peut être affecté par le champ magnétique ? Assurément pas le nombre N des électrons libres, car le changement de ce nombre serait le même pour un champ parallèle et pour un champ perpendiculaire au fil, on n'aurait donc pas comme il arrive souvent $\beta_n > \beta_p$.

Ce ne saurait être non plus, comme le voudrait la théorie de Houston et de Bloch, l'irrégularité du réseau cristallin produite par l'agitation thermique. On ne voit pas en effet comment un champ magnétique pourrait accroître les irrégularités d'un réseau cristallin, surtout si ce réseau est cubique (Cu, Ag, Au, Al, Cr, Mo, W).

Il ne faut pas songer davantage à supposer, comme l'a suggéré Nordheim, que la résistance résiduelle est due aux perturbations du réseau créées par les impuretés chimiques. Il est en effet difficile de comprendre comment l'effet de ces impuretés pourrait se traduire par une perturbation vectorielle h, susceptible de s'ajouter au champ magnétique H.

Enfin on peut supposer que le champ magnétique affecte le pouvoir dispersif de chaque atome individuel à l'égard des électrons, et par suite que l'accroissement de résistance résulte d'une action directe du champ magnétique *sur l'atome lui-même.* Ce type d'explication est celui qui semble s'accorder le mieux avec les résultats de M. Kapitza. La variation périodique de β_0, ou mieux de ΔRa le long du Tableau de Mendéléef paraît plaider en faveur d'influences atomiques. Mais les résultats acquis sont loin d'être assez nombreux pour permettre dès à présent de fonder une théorie sur ces bases.

La théorie, qu'il reste en somme à édifier de toutes pièces, devra prendre son point de départ non seulement dans le fait que la résistance résiduelle est probablement d'origine atomique, mais aussi dans la découverte, due à Kapitza, du rôle essentiel assigné à la résistance idéale. Celle-ci diminue d'une façon qui semble exponentielle lorsque la température tend vers le zéro absolu, sans qu'il soit besoin de lui attribuer aucune discontinuité même à la température d'apparition de la supraconductibilité : la supraconductibilité tient simplement à la disparition brusque de la résistance additionnelle. Tant que nous ne connaîtrons pas avec plus de précision les lois que suit la résistance idéale des divers métaux, il paraît prématuré de substituer aux théories actuelles, certainement incorrectes, une théorie nouvelle. L'ensemble des résultats expérimentaux dus à M. Kapitza sera certainement la base de la théorie à venir.

Léon Bloch.

LA RÉACTION DES SOLS

LE pH DU SOL, SA MESURE ET SON INFLUENCE SUR LA CROISSANCE DES VÉGÉTAUX

Parmi les nombreuses questions posées aux chercheurs dans le domaine de la chimie agricole il en est peu qui dans ces dernières années aient provoqué autant de travaux que celle de la réaction des sols.

On a depuis longtemps déjà remarqué que certaines terres, mises en suspension dans de l'eau teintée par du tournesol, font virer au rouge cet indicateur; dans ces terres acides se développent mal certaines plantes cultivées et certains micro-organismes utiles à la végétation, tels que l'azotobacter.

On peut atténuer ou faire disparaître l'acidité d'une terre arable en lui incorporant de la chaux ou du carbonate de calcium en quantité convenable; diverses méthodes furent donc proposées pour permettre d'évaluer les « besoins en chaux » des terres cultivées acides; parmi les plus anciennes de toutes ces méthodes, le dosage de la chaux soluble dans les acides a déjà fourni de précieux renseignements, il se pratique encore dans beaucoup de laboratoires agricoles mais il s'est montré insuffisant pour permettre à lui seul de juger du besoin en chaux des sols; les chiffres obtenus par cette méthode peuvent être trompeurs car certains sols assez riches en chaux soluble dans les acides sont cependant acides et peuvent profiter d'un apport de calcaire; d'autres sols bien moins riches en calcium soluble dans les acides ont cependant une réaction neutre.

Pour chercher à se renseigner avec plus de précision sur l'acidité des sols, de nombreux agronomes pratiquèrent le titrage de l'acidité en mesurant la quantité d'eau de chaux qu'il fallait ajouter à une quantité donnée de terre mise en suspension dans l'eau pour neutraliser l'acidité du mélange. Les renseignements ainsi obtenus sont très intéressants et peuvent rendre de grands services, mais ils se rapportent seulement à la quantité totale d'acides présents dans la terre sans fournir aucune indication sur la valeur réelle et l'intensité de l'acidité. Plusieurs sols différents donnant par cette méthode des résultats semblables, additionnés des mêmes engrais et traités semblablement peuvent présenter des fertilités très différentes; le phénomène se présentait donc comme très complexe. Une lumière nouvelle vint éclairer ces faits lorsque l'on appliqua à l'étude des sols les méthodes physico-chimiques et les notions de réaction du milieu appliquées déjà aux solutions plus simples d'électrolytes par S. Arrhénius, Kohlbrausch, Oswald, Soërensen, Clark et Lubs, Michaelis, Rona et de nombreux autres savants.

Concentration des ions hydrogène. — En solution aqueuse, un acide se trouve en grande partie dissocié à l'état d'ions : soit par exemple un acide de formule RH, la solution contient côte à côte des molécules RH, des ions R^- et H^+ et leurs concentrations relatives sont reliées d'après la loi d'action de masse par l'équation suivante: $(R^-)\ (H^+) = K\ (RH)$ dans laquelle K représente une constante dépendant de l'acide et de la température. Plus cette constante est forte plus l'acide est dissocié en ses ions, et pour une même concentration analytique en divers acides, la concentration en ions H est d'autant plus forte que l'acide est plus dissocié, la notion déjà ancienne de force relative des acides se précise ainsi : une solution d'un acide est d'autant plus active par son acidité que la concentration des ions H est plus élevée; à concentrations moléculaires égales, celui de deux acides dont la solution est la plus acide est celui qui est le plus dissocié en ses ions. Soient, par exemple, deux solutions contenant, par litre, l'une une molécule-gramme d'acide chlorhydrique, l'autre une molécule-gramme d'acide acétique, il faut une même quantité d'alcali pour neutraliser des volumes égaux de chacun de ces liquides, l'acidité de titrage ou acidité potentielle est donc la même dans les deux cas, mais si nous cherchons à comparer l'influence de ces solutions sur certains phénomènes chimiques, physico-chimiques ou biologiques tels que l'hydrolyse du saccharose, floculation d'un colloïde, action d'une diastase, vie d'une culture microbienne ou d'un végétal, etc., nous constatons des activités fort dissemblables des deux solutions acides, leurs acidités vraies sont très différentes car l'acide acétique est beaucoup moins dissocié en ses ions que l'acide chlorhydrique, et toutes conditions étant égales d'ailleurs, la concentration des ions H est différente dans les deux solutions.

La dissociation d'un acide en solution aqueuse dépend de sa dilution, de la température et de la nature des substances qui se trouvent dissoutes à ses côtés dans la solution envisagée.

Définition du pH. — L'eau pure est partiellement dissociée en ses ions et la loi d'action de masse permet d'écrire la relation suivante entre les concentrations en eau non dissociée H^2O et en ions H^+ et OH^- : $(H^+)\ (OH^-) = K.(HO^2)$ la quantité relative de molécules d'eau dissociées étant toujours très faible par rapport à la quantité d'eau, une variation de la dissociation n'influence pas sensiblement la concentration (H^2O) et l'on peut écrire sans erreur appréciable $(H^+)\ (OH^-) = k'$, k' étant une nouvelle constante pour laquelle l'expérience a donné la valeur 10^{-14} à 25°, les concentrations étant exprimées en ions-grammes par litre. Dans l'eau très pure la concentration des ions H est donc comme celle des ions OH égale à 10^{-7}. Si l'on ajoute à l'eau une certaine quantité d'un acide, on augmente la quantité des ions H, et pour que l'équation précédente reste vérifiée, il faut qu'une partie des ions H et OH de l'eau se combine en molécules H^2O, la concentration des ions OH diminuant de ce fait le produit (H)(OH) devient à nouveau égal à la constante $k' = 10^{-14}$; la concentration des ions H étant par exemple devenue 10^{-6}, celle des ions OH est 10^{-8}; la somme des nombres figurant en exposants de 10 reste toujours égale à — 14, et si l'on connaît l'un d'entre eux on connaît l'autre par une simple soustraction. En milieu alcalin la concentration des ions OH est supérieure à celle des ions H et c'est la concentration de ces ions OH qui règle les propriétés alcalines de la solution, mais on peut se contenter de connaître la concentration des ions H puisque l'on peut en déduire celle des ions OH. Pour éviter de toujours indiquer la réaction du milieu par des puissances négatives et surtout pour faciliter certains calculs et la représentation graphique de certains phénomènes, Soerensen a proposé de repérer la réaction des milieux par la valeur absolue de la puissance à laquelle il faut élever 10 pour obtenir la concentration des ions H; cette valeur est désignée par le symbole *p*H et l'on peut définir le *p*H comme l'inverse du logarithme de la concentration des ions H^+. Soit par exemple une solution dont la concentration en ions H est 10^{-6}, le *p*H de cette solution est par définition 6 et l'on écrit *p*H 6. En milieu acide le *p*H est inférieur à 7 tandis qu'il est supérieur à 7 en milieu alcalin. Pour appliquer cette notion aux terres on doit naturellement se rappeler que le *p*H ne peut se définir qu'en solution aqueuse et l'on appelle *p*H d'une terre le *p*H mesuré dans une suspension de cette terre dans de l'eau distillée bien pure.

Les quantités relatives de terre et d'eau n'ont pas d'influence sensible sur le résultat de la mesure à condition de ne pas exagérer la dilution; ce phénomène semble assez surprenant mais s'explique très bien en faisant intervenir la notion de « pouvoir tampon » de diverses substances du sol. Cette notion de tampons fut précisée par A. Fernbach dans des solutions plus simples que les suspensions de terre : étant donné par exemple une solution d'un acide fort, l'acide se trouve presque entièrement dissocié à l'état d'ions, si nous versons goutte à goutte cette solution dans de l'eau pure, le *p*H du liquide obtenu baisse très vite car la concentration des ions H augmente très rapidement; si d'autre part nous versons cette même solution acide dans une solution préalablement neutralisée d'un sel d'un acide faible et d'une base forte tel que de l'acétate de soude, le *p*H baisse beaucoup plus lentement car l'acétate, très dissocié comme tous les sels se trouve à l'état d'ions $(Na)^+$ et $(CH^3COO)^-$ et, lors de l'addition de la solution d'acide fort, les ions $(H)^+$ et (CH^3OOO) mis en présence se combinent partiellement en acide acétique puisque cet acide est faible donc peu dissocié en solution; la quantité des ions H diminue donc très notablement. Le sel d'acide faible joue en quelque sorte un rôle de frein par rapport à l'augmentation des ions H. Un sel d'un acide fort et d'une base faible joue un rôle entièrement comparable si l'on cherche à augmenter la concentration des ions OH par addition d'une base forte. L'action tampon de certaines substances doit être interprétée d'une manière un peu différente mais l'exemple choisi suffit à montrer qu'il peut exister dans les sols certaines substances capables d'amortir les variations des ions H. Un sol constitué par du sable quartzeux pur ne contient que de très faibles quantités de substances capables de jouer le rôle de tampons aussi peut-on faire varier beaucoup son *p*H par addition de petites quantités d'acide ou de base; une terre arable riche en humus, contenant par conséquent de notables quantités de substances organiques à fonctions acides faibles, nécessite des quantités d'acide ou de base beaucoup plus grandes pour faire varier d'une même quantité son *p*H. C. Brioux et J. Pien[1] ont récemment défini le coefficient de saturation des sols qui permet de repérer par un chiffre la puissance tampon d'une terre; le coefficient de saturation d'une terre est la quantité moyenne de chaux pure évaluée en milligrammes, nécessaire pour faire varier de 0,1 le *p*H de un kilo de terre. Les valeurs trouvées pour ce coefficient varient dans de très larges limites de 28 à 520 (Brioux et Pien [1]) et ce simple fait montre combien variable est la teneur des divers sols acides en substances capables d'influer sur leurs besoins en

chaux. M. Demolon et Mlle Dupont [2] ont montré que les substances jouant le plus énergiquement dans les sols le rôle de tampons sont l'argile et les humates. Les substances tampons agissent également pour empêcher les variations du *p*H par dilution : soit par exemple une solution riche en substances tampons et présentant un *p*H donné, si nous lui ajoutons 10 fois son propre volume d'eau nous tendons à diviser les concentrations en ses divers constituants par 10 et si la concentration des ions H variait comme les autres concentrations, le *p*H qui est un logarithme varierait seulement de une unité, mais les acides faibles qui n'étaient que partiellement dissociés dans la solution primitive concentrée se dissocient plus en solution plus diluée et libèrent donc des ions H qui atténuent la variation du *p*H; les bases faibles agissent semblablement en milieu alcalin. Les mélanges d'un acide faible et de sels de ce même acide, ainsi que les mélanges d'une base faible et de sels de cette base agissent très énergiquement comme tampons pour éviter les variations du *p*H par dilution et tout ceci nous permet de comprendre pourquoi de petites variations dans la quantité d'eau ajoutée à une terre ne font pas varier sensiblement le *p*H.

Mesure du pH des sols. — Il est impossible d'exposer ici en détail toutes les techniques proposées pour mesurer le *p*H des sols; ces techniques seront exposées brièvement, mais pour chacune sera indiqué un mémoire français où l'on peut trouver tous les détails complémentaires.

I. *Méthode électrométrique. Electrode à hydrogène* [3]. — Si dans une solution d'un sel d'un métal on introduit une lame de ce même métal, on constate qu'il s'établit une différence de potentiel entre le métal et la solution et que cette différence de potentiel varie avec la concentration des ions métalliques dans la solution. Si l'on désigne par p la pression osmotique des ions métalliques dans la solution et par e la différence de potentiel entre l'électrode et la solution, ces deux grandeurs sont reliées par l'équation fondamentale de Nernst :

$$e = \frac{RT}{nF} \log_e \frac{P}{p}$$

dans laquelle R est la constante des gaz : 8,324 joules pour un ion-gramme, T est la température absolue, F le nombre de Faraday 96.500 et P une constante caractéristique du métal, appelée pression de dissolution.

Il n'est pas nécessaire d'expliciter la pression de dissolution P car si nous admettons qu'elle est constante à température constante, on peut écrire pour une température de 20° :

$$e = 0{,}0581 \log p + \text{Cte.} \quad \text{(logarithmes vulgaires)}$$

il est donc possible de calculer la concentration p des ions dans une solution donnée si l'on connaît les valeurs de e pour cette solution et pour une autre solution de concentration ionique connue p',

$$e = -0{,}0581 \log p + C$$
$$e' = -0{,}0581 \log p' + C,$$

d'où

$$e - e' = -0{,}0581 \log \frac{p}{p'} = 0{,}0581 \left(\log \frac{1}{p} - \log \frac{1}{p'} \right). \quad (1)$$

L'expérience a montré que l'hydrogène occlus dans du noir de platine en contact avec une solution contenant des ions H réalise une électrode analogue à celle qui serait constituée par un métal en contact avec une solution contenant des ions de ce métal. Pour que la pression de dissolution de l'hydrogène soit constante, il faut que la température et la pression de l'hydrogène gazeux entourant le noir de platine soient constantes. Pour préparer de telles électrodes on dépose sur une lame de platine une mince couche de noir de platine par électrolyse d'une solution d'acide chloroplatinique, on lave ensuite l'électrode puis on la sature une première fois d'hydrogène en l'utilisant comme cathode pour électrolyser une solution diluée d'acide sulfurique; l'électrode lavée est prête à servir. Pour mesurer le *p*H on forme donc en principe, une pile avec la solution étudiée et une solution acide type, les deux électrodes étant des lames de platine platiné maintenues saturées d'hydrogène par un courant de ce gaz barbotant sous pression constante dans le liquide entourant chacune des électrodes. La solution acide type utilisée (solution normale) contient un gramme d'ions H par litre et comme on n'a pas pu jusqu'ici déterminer la valeur absolue des différences de potentiel métal-solution on admet que la différence de potentiel entre l'électrode d'hydrogène et la solution normale d'ions H est zéro à toutes les températures.

La concentration des ions H dans la solution normale étant 1, c'est-à-dire 10^{0} le *p*H est 0, et si dans la formule (1) on remplace $\log \frac{1}{p}$ et $\log \frac{1}{p'}$ par leurs équivalents *p*H et 0 on a : pour la force électromotrice de la pile envisagée

$$e - e' = 0{,}0001984 \, T.pH \quad (2)$$

d'où à 20°

$$e - e' = 0{,}0581 \, pH,$$

d'où

$$pH = \frac{e - e'}{0{,}058}. \quad (2)$$

La différence de potentiel $e - e'$ se mesure par la méthode classique d'opposition de Poggendorf et pour diminuer autant que possible le potentiel de diffusion au contact du liquide à étudier et du liquide aide de comparaison, on les réunit par une solution intermédiaire de chlorure de potassium saturée, car la théorie prévoit et l'expérience vérifie que les différences de potentiel au contact de la solution de chlorure de potassium et de chacune des deux autres solutions sont très faibles.

En pratique on emploie très rarement la solution normale d'ions H comme terme de comparaison car sa préparation et sa conservation sont assez difficiles, on substitue à la demi-pile à solution normale une demi-pile dite électrode au calomel constituée par du mercure en contact avec une solution de chlorure de potassium saturée en chlorure mercureux; la différence de potentiel entre le mercure et la solution surnageante est due au contact du métal mercure avec une solution d'ions mercureux; cette différence de potentiel n'est naturellement pas égale à celle de l'électrode de référence normale envisagée dans les calculs ci-dessus, il est donc nécessaire de connaître avec exactitude la différence A existant entre ces deux constantes. A dépend de la température et de la concentration de la solution de chlorure de potassium utilisée pour construire l'électrode au calomel : à une température de 20° pour une solution saturée de chlorure de potassium A = 0,2492.

Si l'on étudie une solution moins riche en ions que la solution normale ce qui est le cas très général, l'électrode normale est positive par rapport à l'électrode correspondant à la solution étudiée, mais, d'autre part, l'électrode à calomel est positive par rapport à l'électrode normale, si donc nous envisageons les trois différences de potentiel suivantes :

1° { Hg de l'électrode au calomel / Pt de l'électrode normale à H } différence de potentiel A;

2° { Pt de l'électrode normale à H / Pt de l'électrode à H de concent. x } différence de potentiel ε;

2° { Hg de l'électrode au calomel / Pt de l'électrode à H de concentr. x } différence de potentiel E.

c'est E que nous mesurons en pratique, mais c'est ε qui doit intervenir dans le calcul du pH par la formule (2), or le simple examen du tableau ci-dessus nous permet d'écrire : $E = A + \varepsilon$ d'où $\varepsilon = E - A$; nous pouvons donc calculer pH en mesurant E si nous connaissons A (3)

$$p\mathrm{H} = \frac{E - A}{0{,}0001984\,T}. \qquad (3)$$

Si toutes les électrodes sont maintenues dans un thermostat à la température de 20° on a

$$p\mathrm{H} = \frac{E - 0{,}2492}{0{,}05816}.$$

Causes d'erreurs et corrections. — Si la pression du gaz hydrogène qui barbote autour de l'électrode de platine platiné n'est pas exactement une atmosphère, on doit faire une légère correction des chiffres trouvés; pour une température de 20°, la tension de vapeur de l'eau étant 17,5 il faut ajouter à la valeur trouvée pour la différence de potentiel une correction qui varie avec la pression barométrique de la manière suivante:

Pression barométrique	Correction en millivolts
780	— 0,04
760	+ 0,29
740	+ 0,64

Ces corrections sont faibles et peuvent être négligées pour la plupart des applications agronomiques.

Une correction beaucoup plus importante doit être faite si la température n'est pas 20° car dans la formule (3) le terme A et le dénominateur varient avec la température.

Températures	Valeurs de A en volts (KCl saturé)	Valeurs de 0,00019837. T
15°	0,2525	0,0571
18°	0,2503	0,0577
20°	0,2488	0,0581
25°	0,2458	0,0591

Technique de la mesure du pH des terres arables. — Le dispositif qui m'a semblé le plus simple et

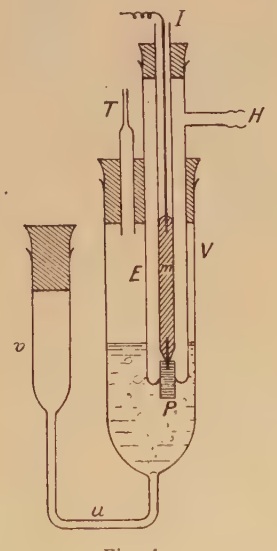

Fig. 1.

le plus commode bien que permettant des mesures suffisamment précises pour les besoins agronomiques est représenté par le schéma ci-contre (fig. 1) : Deux vases cylindro-coniques V et v de

diamètres très inégaux communiquent par un tube très étroit recourbé en forme de U aboutissant au fond de chacun des vases. Après avoir fermé l'orifice du plus petit vase *v* par un bouchon de liège, on verse dans le vase V une bouillie préparée en mettant deux grammes de terre tamisée en suspension dans vingt cm³ d'eau distillée très pure[1], l'orifice du vase *v* étant bouché, le liquide ne peut pas passer dans le tube étroit *u* et reste dans le vase V. Dans le goulot du vase V on adapte alors un bouchon percé de deux trous livrant passage : l'un à un simple tube *T* assez étroit et légèrement effilé, l'autre à un tube plus large E muni d'un ajutage latéral H ; le tube E est bouché à sa partie supérieure par un bouchon de caoutchouc traversé par un tube de faible diamètre I portant à sa partie inférieure une petite lame de platine platiné P. Une petite quantité de mercure *m* contenu dans le tube I assure la liaison électrique entre l'électrode et la borne négative du potentiomètre.

Par l'ajutage H, on fait arriver un courant d'hydrogène très pur qui, passant dans l'espace annulaire compris entre les tubes E et I, vient barboter dans le liquide à étudier autour de l'électrode P qui doit être disposée de telle manière que les bulles d'hydrogène ne soient jamais capables de supprimer complètement son contact avec le liquide en expérience ; l'hydrogène sort de l'appareil par le tube T.

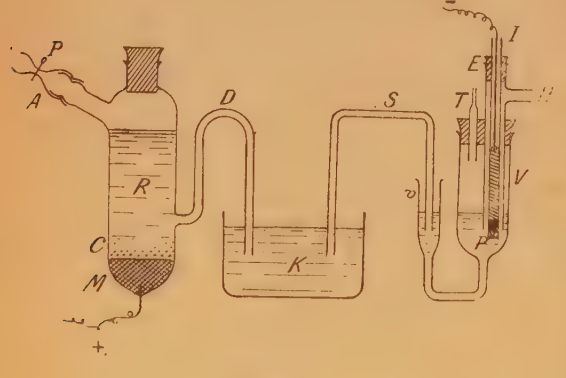

Fig. 2.

Après quelques minutes on débouche le vase *v*, une partie du liquide passe dans le vase *v*, ce qui permettra d'établir un contact liquide avec la solution intermédiaire de chlorure de potassium au moyen d'un siphon S rempli par une solution saturée de chlorure de potassium gélifiée par un peu d'agar.

1. Bouillie en vase de cuivre étamé puis conservé à l'abri du gaz carbonique et surtout des vapeurs acides ou alcalines du laboratoire.

L'électrode au calomel schématisée en R sur la figure 2 est constituée par un vase de verre muni d'un ajutage A et d'un siphon D ; le fond du vase R est traversé par un fil de platine qui permettra d'établir le contact électrique entre le mercure M et la borne positive du potentiomètre. Au-dessus du mercure M est une couche de calomel et de cristaux de chlorure de potassium finement broyés avec un peu de mercure ; la solution surnageante est, de ce fait, constamment saturée en calomel et en chlorure de potassium.

Le vase R est muni d'un bon bouchon puis l'ajutage A est muni d'un tube de caoutchouc que peut fermer une pince P ; en aspirant par l'ajutage A, on remplit le vase et le siphon D avec une solution saturée de chlorure de potassium puis on serre la pince P lorsque le siphon et le vase sont convenablement remplis. Le siphon D est introduit dans la solution intermédiaire K de façon à assurer une liaison liquide continue entre les deux électrodes et l'appareil est prêt pour la mesure. Une électrode au calomel convenablement préparée peut servir à un grand nombre de mesures, mais elle doit être vérifiée souvent.

Il est impossible de donner ici de plus amples détails techniques, mais on peut trouver toutes les précisions désirables dans divers ouvrages cités dans la courte notice bibliographique placée en fin du présent article et tout particulièrement dans les ouvrages de Bigwood, de Darmois et de Vincent.

Electrode à la quinhydrone. — L'électrode à hydrogène décrite ci-dessus permet d'obtenir d'excellents résultats, mais présente quelques inconvénients lorsque l'on désire travailler vite et en grandes séries comme il peut être nécessaire de le faire dans certains laboratoires d'application ; un des principaux inconvénients réside dans la préparation en grande quantité d'hydrogène très pur, un autre inconvénient assez important réside dans la lenteur avec laquelle le potentiel à mesurer devient constant car on doit attendre au moins vingt minutes avant de faire une lecture définitive ; ces difficultés disparaissent lorsque l'on utilise une méthode due à Biilmann basée sur le principe suivant : La quinhydrone $C^6H^5O^2$ en solution dans l'eau se dissocie en hydroquinone et en quinone :

$$\underset{\text{Quinhydrone}}{(C^6H^5O^2)^2} = \underset{\text{Quinone}}{C^6H^4O^2} + \underset{\text{Hydroquinone}}{C^6H^6O^2}$$

mais on peut considérer l'hydroquinone comme dérivant de la quinone par hydrogénation :

$$C^6H^4O^2 + H^2 \rightleftarrows C^6H^6O^2.$$

En appliquant la loi d'action des masses à cette équation on peut écrire :

$$H^2) = K) \frac{(C^6H^6O^2)}{(C^6H^4O^2)},$$

mais comme d'après l'équation de dissociation de la quinhydrone il y a des nombres égaux de molécules de quinhydrone et de quinone on a : $(H^2) = K$ et la quinhydrone en solution dans l'eau réalise une concentration d'hydrogène constante tout aussi bien que si l'on saturait de l'eau par de l'hydrogène sous une pression constante très faible. L'emploi de la quinhydrone supprime le courant d'hydrogène et même le platinage des électrodes, un simple fil de platine bien propre trempé dans le liquide à étudier préalablement additionné de quelques parcelles de quinhydrone constitue l'électrode; le potentiel devient très rapidement constant et la lecture peut être faite

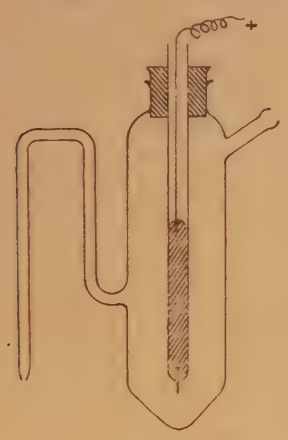

Fig. 3.

après trois minutes, ce qui permet de travailler en série. De nombreux modèles de vases à électrodes ont été proposés pour cet usage, le plus pratique semble être celui schématisé dans la figure 3 de forme très voisine de celle décrite ci-dessus pour les électrodes à calomel : le fil de platine est porté par un tube de verre traversant le bouchon et rempli de mercure pour assurer le contact électrique. Pour effectuer une mesure on introduit dans le vase V la bouillie formée par 5 gr. de terre, 20 cc. d'eau et une vingtaine de milligrammes de quinhydrone environ; puis on relie le platine au pôle positif du potentiomètre tandis que le mercure de l'électrode à calomel est relié au pôle négatif.

La différence de potentiel entre l'électrode à quinhydrone et l'électrode à hydrogène plongeant dans deux liquides identiques varie avec la température et sa valeur est donnée par la formule

$$Q = 0{,}7176 - 0{,}00074.t$$

dans laquelle t est la température en degrés centigrades.

Donc : e étant la force électromotrice mesurée avec une électrode à quinhydrone, la force électromotrice que l'on aurait mesurée pour le même liquide avec une électrode à hydrogène serait de signe contraire à e puisqu'il faut inverser les pôles pour passer d'une mesure avec l'une des électrodes à une mesure avec l'autre. En désignant par e et E les valeurs absolues de ces forces électromotrices on aura donc, d'après la définition de Q :

$$Q = e + E \quad \text{d'où} \quad E = Q - e$$

et dans la formule (3) établie ci-dessus : nous pouvons remplacer E par cette valeur, donc :

$$p\text{H} = \frac{Q + e - A}{0{,}0001984.T}$$

(Electrode calomel à solution saturée en KCl).

Lorsque la température est 20° on a :

$$p\text{H} = \frac{0{,}4540 - e}{0{,}0581}.$$

Les avantages pratiques ont fait adopter l'électrode à quinhydrone pour de nombreux usages mais elle présente quelques inconvénients qui limitent son emploi : tout d'abord l'électrode à quinhydrone ne peut servir pour les solutions alcalines, on ne doit l'utiliser que si le pH est inférieur à 7,5; de plus la présence de sels en quantité importante dans la solution nécessite l'introduction d'une correction assez importante et parfois difficile à déterminer.

Le pH des sols ne dépasse que rarement 7,5 et de plus c'est surtout dans les terres acides qu'il est utile de faire des déterminations de pH; en outre les déterminations étant effectuées sur des bouillies assez diluées de terre, la quantité de sels présente n'est pas assez grande pour que l'erreur due aux sels soit d'un ordre supérieur aux erreurs permises pour de telles déterminations. L'emploi de l'électrode à quinhydrone s'est donc généralisé très rapidement dans les laboratoires agronomiques.

Méthode colorimétrique de détermination du pH des sols. — Certaines substances dénommées indicateurs ont la propriété de présenter en solution des couleurs différentes suivant le pH; un exemple connu de tous est la teinture de tournesol qui est rouge en milieu acide et bleue en milieu alcalin; lorsque l'on fait varier lentement le pH le changement de teinte se fait progressivement avec passage intermédiaire par une teinte violacée pour un pH voisin de 7. Les divers indicateurs n'ont pas leurs zones de virage situées

au même point dans l'échelle des *p*H et l'on conçoit aisément qu'il soit possible de trouver une série de ces substances telles que l'on puisse toujours trouver un indicateur donnant une teinte intermédiaire de son virage pour le *p*H à déterminer, il suffit alors de comparer la teinte obtenue avec les teintes des divers tubes d'une gamme préparée avec des solutions de *p*H connus. La préparation et la conservation de ces gammes est toujours difficile et la comparaison des teintes ne permet pas une très grande précision dans les mesures. Un autre inconvénient de cette méthode réside dans les erreurs dues à la présence de sels qui influent sur les indicateurs d'une manière appréciable dans certains cas. Un des grands avantages de la méthode colorimétrique réside dans la modicité relative du prix d'achat du matériel nécessaire.

La préparation des gammes comparatives est longue et fastidieuse, il serait trop long de la décrire ici en détail (4) d'autant plus que la simplicité et la rapidité des déterminations électrométriques avec l'électrode à quinhydrone tend à restreindre de plus en plus l'usage de la méthode colorimétrique. Lorsque l'on désire seulement faire une détermination approximative de la réaction d'une terre on s'adresse à une méthode très ingénieuse due à Comber que l'on complète au besoin pour les terres proches de la neutralité par une détermination rapide avec un indicateur unique.

Méthode Comber. — En milieu acide le sulfocyanure de potassium donne avec les sels ferriques une teinte rouge très intense tandis qu'en milieu neutre ou alcalin il ne se développe aucune coloration; en milieu acide, la teinte est d'autant plus faible que la réaction est moins acide. Les terres arables contiennent généralement des sels ferriques, il suffit donc d'ajouter à de la terre mise en suspension dans de l'eau une quantité toujours la même de sulfocyanure puis de laisser déposer la terre dans le fond du vase, et de noter la teinte du liquide surnageant pour se faire une idée du *p*H approximatif de la terre étudiée.

Si la terre ne contient pas de sel de fer soluble, la teinte rose ne peut pas se développer; aussi est-il nécessaire, lorsque le liquide reste incolore, d'ajouter avant de conclure une petite quantité d'une solution bien neutre d'alun ferrico-ammonique. Si le liquide reste malgré tout incolore la terre n'est pas fortement acide. La méthode Comber ne permet pas de distinguer les terres légèrement acides de celles qui sont neutres ou alcalines, mais il suffit pour cela de

Coloration du liquide	Réaction	*p*H
Rouge foncé	Fortement acide	4 à 5
Rouge	Acide	5
Rouge clair	Faiblement acide	5 à 6
Rose clair ou incolore	Acidité très faible	6 à 6,5
Incolore	Trace d'acidité ou neutre ou alcaline	Supérieur à 6,5

mettre quelques grammes de terre en suspension dans un peu d'eau pure puis d'ajouter quelques gouttes d'une solution alcaline de bleu de bromothymol : cet indicateur est jaune en milieu acide, vert en milieu neutre et bleu en milieu alcalin. La Méthode Comber ainsi complétée est suffisante pour permettre à un agriculteur de se renseigner rapidement et facilement sur la réaction de ses terres et de déceler celles qui ont grand besoin d'être chaulées. Quelle que soit la méthode de mesure du *p*H utilisée, il faut opérer sur un échantillon de terre moyen prélevé avec soin car le *p*H peut varier assez sensiblement d'un point à un autre point voisin d'un même sol (5).

Besoins en chaux des sols. — En ajoutant à une terre acide une quantité convenable de chaux ou de carbonate de calcium on peut la rendre moins acide, la neutraliser ou même l'alcaliniser. Pour pratiquer cette neutralisation il faut mesurer la quantité de chaux nécessaire par kilo de terre pour obtenir le *p*H désiré. Pour calculer ensuite la quantité par hectare il faut tenir compte de l'"épaisseur pratique de la terre arable (20 cm. par exemple) et de la proportion de terre fine dans la terre.

La méthode la plus précise pour déterminer la quantité de chaux nécessaire pour amener le *p*H d'une terre acide à un *p*H désiré est la suivante : à une série d'échantillons de terre aussi identiques que possible et tous de même poids, on ajoute des quantités croissantes de carbonate de calcium précipité et bien pur, puis à chacun une quantité égale d'eau et les flacons contenant les échantillons sont soumis à une agitation énergique et prolongée, puis le *p*H est déterminé dans chacune des bouillies ainsi obtenues. Les résultats permettent de construire une courbe représentant les variations du *p*H en fonction de la quantité de carbonate ajouté; on peut ensuite déduire de cette courbe la quantité nécessaire pour le *p*H désiré.

Dans beaucoup de cas l'agriculteur ne désire pas une précision aussi grande et se contente de ramener la réaction de la terre au voisinage de la neutralité, on peut se contenter alors de mesurer le besoin en chaux de la terre par la méthode de Hutchinson et Mac Lennan : une quantité connue de terre séchée et tamisée est

agitée avec une solution de titre connu de bicarbonate de calcium, puis, après un certain temps, on mesure l'excès de bicarbonate qui n'a pas été neutralisé par la terre et l'on calcule par différence la quantité de calcaire nécessaire à la neutralisation de la terre. Les résultats obtenus par cette méthode sont légèrement inférieurs (0,9 %) à ceux obtenus par la méthode électrométrique pour la neutralisation d'une même terre.

Un échantillon de terre neutralisé par la quantité calculée par une des méthodes ci-dessus, puis conservé en flacon s'acidifie lentement par un processus encore incomplètement étudié, il faut donc ajouter toujours un peu plus de calcaire que la quantité calculée.

Dans une terre cultivée, il se perd de la chaux par divers processus : les récoltes enlèvent chaque année un peu de calcium ; le gaz carbonique provenant de la respiration des plantes et de l'oxydation des matières organiques du sol dissout à l'état de bicarbonate une assez grande quantité de calcium et une grande partie de ce sel est entraînée par les eaux de drainage ; certains engrais tels que le sulfate d'ammoniaque et le chlorure de potassium dont les acides sont forts et peu assimilés par les plantes dissolvent une assez notable quantité de calcium à l'état de sels tels que chlorures ou sulfates que l'eau entraîne plus ou moins rapidement. Si donc on veut maintenir une terre neutralisée, il faut lui donner chaque année du calcium en quantité convenable et variable avec la terre envisagée, les engrais utilisés et les cultures pratiquées.

Adaptation des plantes au pH. — Le *p*H des sols est un des principaux facteurs réglant la flore spontanée car les plantes spontanées se développent dans les terres dont le *p*H leur convient et qui est différent pour chacune d'elles ; il se fait une sélection par réaction du milieu, les végétaux ne croissent pas ou dépérissent lorsque le *p*H ne leur est pas favorable. Pour chaque plante il est un *p*H minimum au-dessous duquel elle ne peut vivre et un *p*H maximum au-dessus duquel elle se développe très mal ; à une valeur intermédiaire du *p*H correspond un optimum. Le *p*H optimum est très variable d'une espèce à l'autre, les *p*H des sols sont également très variables si bien que chaque espèce peut trouver un sol dont la réaction lui convient. Si l'on mesure les *p*H des divers sols sur lesquels se développe spontanément une espèce donnée, on trouve toujours des valeurs très voisines si bien que l'étude de la flore spontanée permet de connaître approximativement la réaction d'un sol.

Les plantes cultivées sont aussi très sensibles à croître dans un sol donné il est nécessaire pour à la réaction du sol, si donc on veut les obliger obtenir un bon rendement d'ajuster le *p*H de ce sol au voisinage de l'optimum correspondant à la plante envisagée.

Le tableau suivant extrait d'un travail de V. Vincent (6) donne les *p*H minimum, optimum et maximum pour diverses plantes cultivées.

	*p*H minimum	*p*H optimum	*p*H maximum
Blé	4,0	5 à 7	8,0
Seigle	4,0	5,4 à 6,4	7,8
Avoine	3;0	6,0	8,9
Orge	5,0	7,2 à 7,4	8,4
Maïs	3,0	5,0	10
Luzerne	4,8	6,0 à 8,0	7,7 à 10
Trèfle violet	3,0	7 à 8	10
Flouve odorante		4,5 à 6,5	
Dactyle pelotonné		7 à 7,5	
Lotier corniculé		5,7 à 6,2	
Pommes de terre	5,1	5,2 à 6,3	
Betteraves	6,8	7,5	

La réaction des sols n'intervient pas seulement sur le développement des plantes supérieures, mais aussi sur le développement des microorganismes du sol ; or certains de ces êtres sont très utiles à l'agriculture. La nitrification par exemple peut avoir lieu dans des sols légèrement acides mais elle est beaucoup plus intense dans des sols neutres ou alcalins. La résistance des plantes supérieures aux maladies cryptogamiques est très variable, semble-t-il, avec le *p*H ; de nombreuses études sont encore à faire dans cette voie.

M. A. Machebœuf.
Docteur en Médecine, Docteur ès Sciences,
Lauréat de l'Institut.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ch. Brioux et J. Pien. — *Annales de la Science agronomique* (1927), tome XLIII, p. 21.
2. M. Demolon et Mlle Dupont. — *C. R. Ac. des Sciences* (1924), tome CLXXIX, p. 300.
3. On peut trouver de plus amples détails sur la méthode électrométrique de détermination du *pH* dans les brochures suivantes :
E. Darmois. — *Leçons sur la Conductibilité des électrolytes*. Librairie Vuibert, édit., Paris, 1929.
L. Michaelis. — *Manuel de Technique de physico-chmie*. Traduction française par Chabanier et Lobo-Onell. Masson et Cie, éditeurs, Paris, 1925.
E. J. Bigwood. — Méthodes de détermination du *p*H des liquides de l'organisme. *Bulletin de la Société de Chimie biologique* (1928), tome X, p. 15.
4. On peut trouver de plus amples détails sur la détermination colorimétrique du *p*H des sols dans les articles de M. Brioux, dans les *Annales de la Science agronomique*. Novembre et décembre 1925.
5. Fromageot. — *C. R. Ac. Sciences* (1928), t. CLXXXVI, p. 787.
6. V. Vincent. — L'acidité des sols. Conférence faite aux directeurs des services agricoles de la région de l'ouest. Imprimeries Réunies, Rennes, 1927.

BIBLIOGRAPHIE

ANALYSES ET INDEX

1° Sciences mathématiques.

Bricard (R.), *Professeur à l'École Centrale et au Conservatoire des Arts et Métiers.* — **Le Calcul vectoriel,** — *1 vol. in-16 de 199 pages, de la Collection Armand Colin. Armand Colin, éditeur. Paris,* 1929. *(Prix : broché, 9 fr.).*

Le calcul vectoriel a ses origines dans les travaux de Hamilton (1843) et de Grassman (1844). Les quaternions de Hamilton sont connus en France par le traité de Tait et l'ouvrage de Laisant, mais ils n'y obtinrent aucun succès.

D'ailleurs l'œuvre de Hamilton a évolué entre les mains de Gibbs et de Heaviside qui estimaient les quaternions mal adaptés aux besoins de la physique mathématique. Ce sont eux qui ont finalement donné au calcul vectoriel sa forme à peu près définitive.

Si celui-ci s'implante difficilement chez nous, cependant il gagne rapidement du terrain, surtout près des physiciens pour lesquels il est un instrument de choix dans l'électromagnétisme, indispensable dans les questions de relativité générale.

Par la concision de ses notations il est commode en géométrie infinitésimale, en mécanique rationnelle, en élasticité. Cependant il ne saurait suppléer toujours la méthode cartésienne aux équations de laquelle il faudra invariablement recourir quand il s'agira par exemple d'aboutir à un calcul numérique. Par ailleurs aussi les équations mises sous forme vectorielle ne permettent pas souvent d'étudier les figures et d'en trouver le plus de propriétés possibles. Il n'en reste pas moins qu'il présente de grands avantages et que nul mathématicien ne doit désormais l'ignorer.

Dans son volume M. Bricard s'est inspiré des travaux de Gibbs dont il a adopté les notations et des travaux de Burali Forti et de Marcolongho. Se conformant à l'esprit de la collection, il n'a donné que ce qui lui a semblé indispensable pour acquérir rapidement le maniement du calcul vectoriel dans ce qu'il a d'essentiel.

Aussi a-t-il laissé de côté les notions générales, comme celles d'axialité, par exemple. Il ne dit rien non plus de ce qui est relatif au calcul tensoriel.

Le chapitre premier contient les règles du calcul vectoriel élémentaire. Les deux suivants en donnent des applications aux torseurs et à la géométrie; le chap. 4 concerne la dérivation des vecteurs suivie d'applications à la géométrie infinitésimale. Le chapitre 5 est relatif à la mécanique. Le chap. 6 aux fonctions de points (gradient, divergence, rotationnel, formules de calcul intégral). Enfin, le chap. 7 renferme les applications du précédent, aux champs newtoniens, à l'hydrodynamique, et au magnétisme. Mais l'auteur n'a pas poussé jusqu'à l'électrodynamique et aux équations de Maxwel en raison des développements d'ordre purement physique que cela aurait nécessité.

Une note termine ce petit volume, consacrée à la terminologie et aux notations du calcul vectoriel sur lesquelles malheureusement ne s'entendent pas encore les auteurs.

Le nouvel ouvrage de M. Bricard a, en tous points, rempli le but de l'encyclopédie qu'il enrichit: il vulgarise sans abaisser. Les étudiants seront bien heureux de disposer de ce volume écrit pour eux et que les mathématiciens qui voudront s'initier au calcul vectoriel pourront, je dirai devront lire.

L. Potin.

***

Lemaire (J.), *Répétiteur à l'École polytechnique.* — **Hypocycloïdes et Epicycloïdes.** — *1 vol. in-8° de 294 pages, avec figures. Vuibert, éditeur, Paris,* 1929. *(Prix : broché,* 20 *fr.).*

La géométrie pure comme le dit M. d'Ocagne dans la préface qu'il a écrite, est une source intarissable d'enchantements pour l'esprit. C'est aussi le meilleur instrument de culture générale et par là elle est bien supérieure aux autres disciplines des mathématiques.

Pourtant les programmes actuels lui semblent bien contraires, et tout effort fait pour ranimer l'esprit géométrique et le goût de la géométrie doit-il être approuvé de tout le public cultivé.

Or, M. Lemaire, qui est un véritable géomètre, a tout fait et par son enseignement et par ses travaux pour développer chez nous la culture géométrique. En 1927 il a déjà fait paraître une étude sur l'hyperbole équilatère, dont nous avons parlé déjà ici. Aujourd'hui, il nous présente un intéressant ouvrage que les élèves de mathématiques élémentaires et spéciales, ainsi que les candidats à l'agrégation, liront avec autant de plaisir que de profit.

Dans un premier chapitre il envisage les épicycloïdes et les hypocycloïdes d'une façon très générale. Il les reprend ensuite sous des aspects particuliers et ainsi au chapitre II il traite de l'hypocycloïde à 3 ou 4 rebroussements, au chapitre III de la cardioïde, de la néphroïde ou épicycloïde à 2 rebroussements, de l'épicycloïde à 3 rebroussements, de la cycloïde et de la développante de cercle.

Il a pour cela compulsé de nombreux mémoires concernant ces courbes remarquables, mais en groupant harmonieusement leurs plus belles propriétés qu'il démontre originalement. Il nous offre ainsi, grâce à son habileté et son savoir, un ensemble de jolies démonstrations qu'apprécieront les connaisseurs et les lecteurs attentifs qui se trouveront entraînés à résoudre eux-

mêmes les exercices choisis placés à la fin du volume.

M. Lemaire si qualifié a donc ici contribué au relèvement si souhaitable de l'enseignement et de la culture géométrique. Il doit en être remercié vivement ainsi que la maison d'édition Vuibert à laquelle doivent tant déjà professeurs et étudiants.

F. M.

2° Sciences physiques.

De Broglie (Louis). — **Einführung in die Wellen mechanik.** — 1 *vol. in*-8° *de* 221 *pages, édité à l'Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig,* 1929. (*Prix : broché,* 11 *marks ; relié* 13,80 *marks).*

Comme le savent les lecteurs de la Revue, M. Louis de Broglie a déjà donné plusieurs exposés de la mécanique ondulatoire, dont il a eu le premier l'idée il y a cinq ans, et qui a reçu depuis de vastes développements. L'exposé actuel est notablement plus complet que les précédents et paraît en langue allemande : ajoutons cependant que la traduction anglaise de l'ouvrage a suivi de peu la publication allemande et que le texte français doit paraître lui-même prochainement. Les physiciens de tous les pays pourront ainsi étudier dans une langue qui leur soit familière l'évolution de la pensée de notre éminent compatriote.

M. Louis de Broglie se place, dans le livre actuel, au même point de vue général que précédemment, c'est-à-dire qu'il fait ressortir avec une netteté particulière les relations qui existent entre l'ancienne mécanique et la nouvelle. Grace à un exposé assez complet de la mécanique analytique classique, il lui est possible de préciser les analogies et les différences des deux théories, de développer les diverses étapes qui ont conduit à l'équation des ondes sous sa forme la plus générale. Le livre fait naturellemnt état des progrès récents de la théorie qui sont issus pour une bonne part de l'interprétation statistique de la fonction d'onde de Schrödinger, et du principe d'indétermination de Heisenberg qui en est la conséquence. On peut y signaler aussi l'étude détaillée de certains cas particuliers simples, qui illustrent les résultats généraux avec une clarté parfaite.

Le lecteur retrouvera dans ce livre la marque de l'esprit original et profond qui a su ouvrir à la physique théorique un chapitre entièrement nouveau. Les théoriciens ne sauraient manquer de tirer de son étude maintes indications utiles et nouvelles.

E. B.

***

Britton (Hubert T.S.), « *Lecturer* » *de Chimie physique à l'University College d'Exeter.* — **Hydrogen ions. Their determination and importance in pure and industrial Chemistry.** — 1 *vol. in*-8° *de* XIV-515 *p., avec* 108 *fig., de la série* « Monographs on applied Chemistry ». (*Prix, cart. :* 25 *sh.*). *Chapman and Hall,* 11, *Henrietta Street, Londres,* 1929.

On sait depuis longtemps que la concentration en ions hydrogène est un facteur essentiel de maints processus biochimiques. C'est depuis une date beaucoup plus récente qu'on a reconnu son importance fondamentale dans d'autres branches de la Chimie. Aujourd'hui l'emploi de l'électrode d'hydrogène et des méthodes associées se généralise de plus en plus, non seulement pour mesurer de petites variations d'acidité ou d'alcanité, mais aussi comme indicateur de l'importance des réactions qui ont précédé et moyen de contrôle exact de ces réactions.

Dans son ouvrage, M. Britton s'est proposé d'abord de fournir un exposé et une discussion pratique des diverses méthodes électrométriques et colorimétriques pour la détermination de la concentration en ions H. Il n'a retenu que celles qui présentent une supériorité marquée, en laissant de côté les méthodes d'application limitée, comme celles qui dépendent de la vitesse des décompositions catalytiques ou des mesures de conductivité.

Ensuite il montre l'importance fondamentale de la concentration des ions H dans certaines réactions chimiques, en particulier dans l'analyse volumétrique (précipitation des hydrates, des sels basiques, etc...).

Enfin, il indique le rôle considérable joué par ce même facteur dans un certain nombre d'industries chimiques et comment la mesure du *p*H peut être employée au contrôle des opérations. Dans ce but, l'auteur fournit un certain nombre de détails intéressants sur les industries de l'électro-métallurgie, de la tannerie, de la sucrerie, de la papeterie, de la brasserie, de la boulangerie, de la céramique, de la purification des eaux, de la flottation des minerais, etc..., qui ont bénéficié à des degrés divers de l'application de nos connaissances sur la concentration en ions H.

Cette monographie, qui condense un nombre considérable de renseignements sur cette nouvelle branche de la chimie, sera bien acceuillie des techniciens auxquels elle apportera des données ou des suggestions utiles.

Louis Brunet.

3° Sciences naturelles.

Chevalier (Aug.), *Professeur au Muséum d'Histoire naturelle de Paris.* — **Les Caféiers du Globe.** — *Fascicule* I. Généralités sur les Caféiers. *Tome* V *de l'*Encyclopédie biologique. — 1 *vol. gr. in*-8° *de* 196 *p.,* 32 *fig.* (*Prix :* 55 *fr.*). *Paul Lechevalier, éditeur, Paris,* 1929.

Cet ouvrage résume une documentation considérable recueillie par l'auteur au cours de voyages scientifiques qu'il poursuit, depuis 30 ans, dans les régions tropicales du globe, où il a étudié la culture des caféiers, ainsi que plusieurs espèces du genre *Coffea* de l'Afrique Centrale et Occidentale. D'autres fascicules, qui paraîtront ultérieurement, exposeront les méthodes de culture et la production dans les différents pays, puis la composition, la préparation l'utilisation et le commerce du café.

Ce premier fascicule comprend cinq chapitres.

Dans le premier, consacré aux origines du caféier et aux débuts de l'usage et du commerce du café, l'auteur, dans une très intéressante revue historique, nous montre comment le café, en usage chez certaines peuplades africaines depuis des temps très reculés, l'Ethiopie paraissant en être le berceau principal, s'est répandu peu à peu en Arabie puis en Europe, où sa consommation fit de rapides progrès, le port de Marseille jouant un grand rôle comme centre d'importation.

Le 2e chapitre nous montre la propagation de la culture du caféier au XVIIIe siècle, spécialement dans les colonies françaises, et son avenir. Notons que le *Coffea arabica* a été introduit de l'Arabie à Batavia, et de là en Europe par les Hollandais, et que c'est à l'aide de plants, venus d'Amsterdam, que le jeune botaniste français LAURENT DE JUSSIEU a donné la première description exacte de cette plante, qu'il cultiva en 1714, dans le Jardin du Roi à Paris, (notre Jardin des Plantes actuel), et dont les graines ensemencées donnèrent des plants en abondance. C'est de là que le caféier fut répandu dans les colonies françaises. M. Chevalier donne de curieux détails sur les péripéties de l'introduction de cette culture et son extension à d'autres pays tropicaux.

Dans le 3e chapitre, les caféiers sont étudiés au point de vue botanique. Le *coffea arabica* (de la famille des Rubiacées de Laurent de Jussieu), est l'espèce la plus anciennement connue et la plus cultivée, puisqu'elle produit à elle seule les 9/10 du café consommé dans le monde. L'auteur en donne la description, les essais de classification et de groupement des diverses espèces connues, et les passe successivement en revue.

Le 4e chapitre est consacré à la biologie des caféiers. Leur culture peut être améliorée par les recherches biologiques, et l'auteur étudie, en détail, les facteurs héréditaires, climatiques, etc., et insiste sur la nécessité et l'utilité de ces études.

Enfin, dans le 5e chapitre, M. Chevalier expose les principes d'arboriculture fruitière applicables aux caféiers : méthodes d'amélioration, de multiplication autres que les semis, les semis et mise en place des caféiers et les soins à donner aux caféiers cultivés, questions d'un si grand intérêt pour les exploitants. Dans des conclusions très judicieuses, l'auteur fait remarquer que les cultivateurs doivent, en outre, tenir compte des moyens de transport et des ports d'embarquement et que plus la production du café sera élevée, plus il y aura de chance de bénéfices et d'améliorations de culture.

Un index bibliographique termine chacun des chapitres de cet ouvrage du savant professeur du Muséum, qui constitue, par les nombreuses notions et les vues nouvelles qu'il renferme, un guide précieux pour tous ceux qui s'intéressent à la culture des caféiers, particulièrement dans nos colonies.

Dr G. D.

***

Harnisch (Dr Otto), *Privat-docent de Zoologie à l'Université de Cologne.* — **Die Biologie der Moore.** — *1 vol. de 146 pages, 5 pl., 30 pl., 30 fig. de la Collect,* A. THIENEMANN, *Die Binnengewässer, E, Schweizerbart'sche Verlagsbruchh., Stuttgart,* 1929. (*Prix : broché, 16 marks; relié, 17 m. 50.*

La première partie de cet ouvrage est consacrée à l'étude morphologique et physico-chimique des différents types de tourbières. Dans la seconde partie, l'auteur passe en revue les communautés animales et végétales qui habitent ce milieu spécial. Les organismes y sont en général pauvres en espèces et aussi, le plus souvent, pauvres en individus. Dans l'eau libre vivent des Flagellés, quelques Infusoires, quelques Rotifères dont certains sont caractéristiques (*Anuraea serrulata, Polyarthra platyptera* var. *minor*), des Cladocères, des Hydracariens, des larves d'Insectes : Corèthres, Odonates, Dytiques, Notonectes, Chironomides, jamais de Plécoptères ni d'Ephéméroptères. Dans les filets d'eau qui imbibent les Mousses vivent de nombreuses Diatomées, des Rhizopodes (surtout des formes testacées comme les *Hyalosphaenia* et les *Amphitrema*), quelques Turbellariés, des Rotifères, Gastrotiches, Nématodes, Tardigrades, etc. La faune aérienne comprend quelques Araignées et Coléoptères, d'assez nombreuses Fourmis (notamment *Formica fusca picea*), les Papillons *Colias palaeno, Lycaena optilete, Anarta cordigera*, dont les chenilles mangent des plantes de tourbières (*Vaccinium*).

Pourquoi faune et flore des tourbières sont-elles si pauvres? Plusieurs facteurs peuvent être invoqués : grands écarts de température au cours de l'année, eaux renfermant peu de nourriture et beaucoup de substances organiques inutilisables et même toxiques.

Le peuplement de la tourbière se compose d'éléments primaires, qui existent depuis fort longtemps dans ce milieu (parfois depuis la période glaciaire; ex : certains Rhizopodes testacés et certaines Algues sphagnophiles), et des éléments secondaires, de beaucoup les plus nombreux, introduits plus ou moins récemment.

R.

4° Art de l'ingénieur.

Fonville, *Ingénieur des Arts et Manufactures.* — **Installation de Chauffage central.** — *1 vol. in-8° de 598 pages, 163 figures et 14 tables numériques. L. Eyrolles, éditeur. Paris,* 1930. *(Prix : broché 80 fr.).*

Il a paru ces dernières années, plusieurs ouvrages importants sur le chauffage central. Peut-être étaient-ils trop théoriques et les calculs qu'ils présentaient trop difficiles... Aussi l'établissement des installations de chauffage central reste-t-il des plus empiriques et les entreprises grandes et petites, dirigées souvent par des « margoulins », qui en prennent la charge, donnent-elles rarement satisfaction aux propriétaires qui se sont adressés à elles. D'ailleurs les architectes aussi peu compétents que possible dans cette question

difficile sont-ils obligés d'accepter les propositions de leurs entrepreneurs, quelque peu qualifiés qu'ils soient.

Un ouvrage comme celui-ci, qui n'est pas, à proprement parler un traité didactique du chauffage mais bien au contraire un livre écrit pour les ingénieurs et les entrepreneurs de chauffage, qui connaissent déjà la pratique de cette industrie, n'était pas inutile car ceux-là ont besoin d'un livre rassemblant, résumant et donnant toutes les méthodes de calculs ainsi que les tables nécessaires à leur mise en œuvre.

Le travail de M. Fonville contient justement non seulement tout ce qui est nécessaire au calcul d'un réseau de distribution, mais encore au calcul d'une installation complète.

Il est divisé en trois parties principales : La première, concerne l'écoulement des fluides et les méthodes de calcul des réseaux de canalisation d'eau chaude, de vapeur à haute et basse pression, d'air chaud. Elle comporte des tables très développées pour permettre des calculs rapides et rigoureux. De nombreux exemples accompagnent chaque méthode, exemples détaillés qui permettront à ceux que rebutent les théories de concevoir la marche des calculs.

La deuxième partie est relative à la transmission de la chaleur, en rappelant d'abord ce qu'est la radiation, la convection, la conduction. La transmission de la chaleur à travers les parois est traitée par une méthode différente de celle adoptée jusqu'ici. Il en est fait plusieurs applications pratiques qui montreront qu'une voie est ouverte dans cet ordre, à de futurs développements.

La troisième partie présente un côté purement pratique. C'est une série de conseils pour l'exécution des projets et d'indications spéciales indispensables à l'ingénieur et que l'on ne trouvera pas ailleurs.

L'ouvrage est terminé par un appendice ayant trait à la construction des abaques à points alignés qui rendent tant de services. L'auteur, très justement, n'a pas cru devoir en reproduire parce qu'insérés dans un livre ils sont peu utilisables; il a préféré signaler le moyen d'établir ceux que le lecteur estimera devoir lui être utiles.

Réunissant en un corps de doctrine tout ce qui intéresse la science du chauffage, ce livre contribuera à redresser une situation qui était jusqu'à présent tout au profit des ouvrages allemands si nombreux sur la matière.

L. POTIN.

***

Main (W.), *Docteur ès sciences.* — **Enduits cellulosiques**. — 1 *volume in*-8° *de* 216 *pages avec* 28 *figures. Gauthier-Villars et Cie, éditeurs, Paris,* 1929. (*Prix broché :* 25 *fr.*)

La fabrication des enduits cellulosiques a pris ces dernières années, un développement considérable, particulièrement aux Etats-Unis où elle est passée de 1919 à 1927 de 500 à 15.000 gallons. La peinture automobile particulièrement en a été transformée et l'industrie chimique a reçu une impulsion imprévue. La production française commence aussi maintenant à compter, il était donc utile de consacrer à la technique nouvelle un ouvrage de langue française qui puisse être consulté par tous les intéressés, même les moins familiarisés avec la physico-chimie.

L'auteur a pensé nécessaire de s'occuper des applications grâce auxquelles on obtient les heureux effets des « cristallisés », des « réticulés » et des « craquelés ». Le succès des enduits cellulosiques provient pour une part de la production de nombreuses matières premières jadis inconnues sur lesquelles on est parfois embarrassé pour se documenter. Il est donc ici consacré à ces produits un grand nombre de notices formant une grande partie des chapitres réservés aux solvants, plastifiants et diluants.

L'auteur n'a pas cru devoir donner une bibliographie complète du sujet que l'on trouvera dans les traités de Brown-Cranford et Sproxton.

Les chapitres du volume sont relatifs : 1° aux matériaux cellulosiques; 2° aux matériaux résineux; 3° aux plastifiants; 4° aux solvants; 5° aux diluants; 6° aux colorants; 7° à la formation et à la fabricatiion; 8° aux formules; 9° aux enduits divers; 10° aux applications et propriétés.

L'intéressé trouvera ici réunis, grâce à M. Main, une foule de renseignements, disséminés jusqu'à présent dans de nombreux ouvrages anglais et allemands.

L. P.

***

Mercy (P.), *Inspecteur des télégraphes.* — **Le Système de Télégraphie Baudot.** — 1 *vol. in*-8°, *de* 640 *pages, avec* 263 *figures. Dunod, éditeur. Paris,* 1930. (*Prix, broché* : 56 *fr.*).

Ce livre, qui est le fruit de l'expérience personnelle de l'auteur, spécialiste des questions de télégraphie, s'adresse à ceux qui désirent acquérir une connaissance précise de l'appareil Baudot, et particulièrement aux élèves dirigeurs de l'administration. En tête de l'ouvrage sont rapidement exposées les connaissances théorique indispensables à une parfaite compréhension du sujet.

Le volume est divisé en trois parties. Dans la première, sont étudiés le principe général du système Baudot et les différents organes employés dans une installation simple. La seconde partie est exclusivement consacrée aux réglages des appareils et à leurs principaux dérangements; la troisième traite des types particuliers d'installations. Un chapitre y est réservé à l'adaptation du Baudot au service des lignes sous-marines et les principes de l'exploitation des lignes par la méthode du duplex sont l'objet d'un exposé complet. Enfin dans la quatrième et dernière partie ont été réunis les derniers perfectionnements apportés.

F. M.

ACADÉMIES ET SOCIÉTÉS SAVANTES

DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS

Séance du 18 Novembre 1929.

1° Sciences mathématiques. — M. **G. Nicoladzé** : *Sur les points caractéristiques d'une courbe appartenant à un système continu.* — M. **J. Favard** : *Recherches sur les courbes convexes et les couvercles.* — M. **Georges Valiron** : *Sur quelques propriétés des fonctions algébroïdes.* — M. **Harald Bohr** : *Sur un problème de M. Borel.* — M. **Gaston Julia** : *Sur un développement des fonctions holomorphes.* — M. **Jacques Chokhate** : *Sur le polynome de Tchebycheff de la meilleure approximation.* — M. **Radu Badesco** : *Distribution des singularités. De la solution d'une équation intégrale linéaire.* — M. **Gr. C. Moisil** : *Sur la théorie des groupes infinis.* — M. **W.-S. Fédoroff** : *Sur la croissance des fonctions analytiques et de leurs dérivées.* — M. **Kourensky** : *Sur les cas les plus généraux d'intégralité des équations du mouvement d'un corps solide dans un liquide.* — M. **A. Lokcine** : *Sur la flexion d'une poutre anisotrope.* — M. **A. Danjon** : *Déplacement périodique de la Polaire.*

2° Sciences physiques. — MM. **Pauthenier** et **Mallard** : *Contribution à l'étude du champ cylindrique dans l'air ionisé à la pression ordinaire. Contrôle expérimental.* — M. **J. Peltier** : *La localisation des pailles dans les arbres de machines.* — M. **P. Chevenard** : *Traitement thermique des ferronickels complexes à deux constituants.* — M. **René Delaplace** : *Sur la disparition de l'hydrogène dans les tubes à décharge.* — MM. **Raymond Charonnat** et **Raymond Delaby** : *Sur un nouveau produit dérivé du pyramidon.* — M. **Georges Darzens** : *Sur l'alcool hexahydrophénylélhylique et quelques-uns de ses homologues.* — M. **Marcel Faidutti** : *Transpositions d'oxydes d'éthylène dans la série terpénique.* — M. **A. Grebel** : *Variations de la température d'allumage spontané des carburants additionnés de plusieurs corps, en fonction de la proportion de ces différents corps dans le mélange.* — M. **E. Mathias** : *Contribution à l'étude de la matière fulminante. Les formes serpentines.*

Séance du 25 Novembre 1299.

Election. — M. **Ernest Esclangon** est élu membre de la section d'Astronomie en remplacement de M. Puiseux, décédé.

1° Sciences mathématiques. — M. **Herbert Ory** : *Sur l'extraction des racines de tableaux carrés.* — M. **H. Milloux** : *Sur quelques propriétés des fonctions méromorphes et holomorphes.* — M. **Joseph Pérès** : *Quelques résultats touchant la stabilité ou la régularité du mouvement d'un liquide visqueux.* — M. **G.-P. Arcay** : *Contribution à l'étude expérimentale de la déformation du spiral plat.* — MM. **Louis Hirschauer** et **Augustin Talon** : *La formule auto-ferroviaire des transports rapides à grand rendement.*

2° Sciences physiques. — MM. **G. Bruhat** et **R. Legris** : *Sur la dispersion rotatoire de l'acide tartrique et des tartrates alcalins en solution aqueuse.* — MM. **Jean Thibaud** et **Jean-J. Trillat** : *Effets de filtration de la radiation générale sur les diagrammes de rayons X des liquides. Détermination de coefficients d'absorption.* — M. **M. Bourguel** et Mlle **V. Gredy** : *Sur le mécanisme de l'hydrogénation catalytique.* — MM. **L. Meunier** et **K. Le Viet** : *Sur les propriétés hydrophiles du collagène.* — MM. **Jacques Bardet** et **Arakel Tchakirian** : *Sur quelques combinaisons de l'oxyde de germanium et de l'acide oxalique.* — Mme **Ramart-Lucas** et M. **F. Salmon-Legagneur** : *Stabilité dans les spectres d'absorption. — Absorption dans l'ultraviolet des diacides de la série grasse.* — MM. **P. Mondain-Monval** et **B. Quanquin** : *Température d'inflammation spontanée des mélanges gazeux d'air et d'hydrocarbures saturés. Influence de la pression et du chauffage préalable.* — MM. **G. Dupont** et **J. Lévy** : *Sur l'autoxydation de l'acide abiétique. Action des catalyseurs.* — M. **Lucien Dupont** : *Action des alcalis caustiques à haute température sur les matières albuminoïdes.* — M. **J. Grard** : *Sur quelques réactions de l'acétal propargylique.* — MM. **A. Guyot** et **M. Fournier** : *Nouvelle méthode générale de préparation des amines primaires et secondaires.* — M. **D. Ivanoff** : *Sur quelques propriétés des carbonates organomagnésiens mixtes vrais.* — M. **L. Royer** : *Nouvelles observations sur la dissymétrie des figures de corrosion obtenues par un liquide isotrope actif.*

3° Sciences naturelles. — MM. **Gabriel Bertrand** et **L. Silberstein** : *Sur le dosage du soufre et du phosphore dans les plantes.* — M. **J.-A. Le Bel** : *Sur les étincelles qui jaillissent des stalactites frappées violemment avec un outil d'acier.* — MM. **G. Friedel** et **V. Maikowsky** : *Sur les mesures de températures dans les sondages.* — M. **E. Raguin** : *Subdivisions de la nappe des Schistes lustrés en Haute-Maurienne.* — M. **Yang Kieh** : *Sur le massif de pegmatite écrasée situé au bord sud de la feuille géologique d'Aigurande au 1/80.000.* — M. **Marcel Thoral** : *Découvertes paléontologiques dans le Cambrien et le Silurien des monts de Lacaune au nord de la Montagne Noire.* — M. **J. Thoulet** : *Cônes de tourbillonnement liquides océaniques isothermes.* — MM. **R. Combes** et **M. Piney** : *Protéolyse et protéogénèse chez les plantes ligneuses au cours de l'été et de l'automne.* — M. **A. Orekhoff** : *Sur les alcaloïdes de l'* « Anabasis aphylla ». — M. **G. Nicolas** et Mlle **Aggéry** : *Un nouvel exemple d'infection bactérienne généralisée chez les végétaux.* — M. **J. André Thomas** : *Sur le phénomène de modification de l'atteinte toxique des « Convoluta » en fonction de leur groupement.* — M. **Jean Saindman** : *La radiothérapie de l'aérophagie.* — M. **P. Wisniewski** : *De l'influence des conditions externes sur la germination des turions du* « Stratiotes aloides L. ».

Séance du 2 Décembre 1929.

Election. — M. **Charles Nicolle** est élu membre non résidant en remplacement de M. Charles Depéret décédé.

1° Sciences mathématiques. — M. **O. Boruvka** : *Sur les surfaces projectivement déformables qui admettent un groupe de ∞^1 transformations projectives en elles-mêmes.* — M. **Fatou** : *Sur un critère de stabilité.* — M. **Nicolas Théodoresco** : *Sur l'application d'une formule généralisant l'intégrale de Cauchy à une question d'hydrodynamique.* — M. **Jean Courrégelongue** : *Sur l'existence de deux familles de tourbillons à l'arrière des solides immergés.* — M. **L. Ravier** : *Sur une formule générale pour le calcul de la poussée des terres.*

2° Sciences physiques. — M. **Marcel Brillouin** : *Marées dynamiques d'un Océan compris entre deux parallèles. Loi de profondeur quelconque en latitude et longitude. Organisation des calculs.* — MM. **Léon Guillet** et **Marcel Ballay** : *La corrosion des aciers cémentés ou nitrurés.* — M. **Paul Woog** : *De l'extension des lubrifiants sur les surfaces solides. Influences moléculaires. Rôle de la photolyse.* — M. **Marcel Chopin** : *Sur l'écoulement des gaz à travers un orifice en mince paroi, à des températures variables.* — M. **P. Swings** : *Sur les séries de résonance de la vapeur de soufre.* — M. **L. Goldstein** : *Sur le traitement relativiste du problème de plusieurs corps.* — M. **Frédéric Joliot** : *Sur les propriétés électrochimiques du polonium.* — Mlle **A. Dorabialska** : *Le débit de chaleur du polonium.* — M. **Maurice Lecat** : *La prévision de l'azéotropisme binaire.* — MM. **Roger Lyon, G. Fron** et **Fournier** : *Influence du vieillissement artificiel sur les propriétés mécaniques des bois.*

3° Sciences naturelles. — MM. **Raymond Hogart** et **Jacques de Lapparent** : *Sur la bœhmite des bauxites.* — M. **Constant Ktenas** : *Nouvelles recherches sur les caractères pétrochimiques de la caldeira de Santorin.* M. **Maurice Couvreur** : *Sur l'épigénie siliceuse conforme et non conforme des tests de Lamellibranches.* — MM. **H. de Bockh** et **P. Viennot** : *Sur la Géologie de l'Irak.* — M. **H. Douville** : *Remarques à la suite de la communication précédente.* — M. **Raymond Furon** : *La position des grès paléozoïques au nord du moyen Niger (Soudan français).* — M. **Y. Milon** : *Présence de la glauconie dans les sables pliocènes de Bretagne.* — MM. **G. Pontier** et **R. Anthony** : *Sur la présence de quatre incisives supérieures chez le* Mastodon (Tetrabelodon) turicensis *Schinz.* — M. **Georges Malençon** : *Les préliminaires de la germination des spores dans le genre* Elaphomyces. — M. **Paul Guérin** : *La teneur en acide cyanhydrique des* Lotus. — MM. **Georges Truffaut** et **I. Pastac** : *La chémothérapie des maladies des plantes par des colorants organiques.* — M. **Laurent Raybaud** : *Sur l'action des graines germées dans l'alimentation.* — M. **Jean Piveteau** : *Sur un type nouveau de Poisson fossile provenant du nord de Madagascar.* — M. **Emile-P. Terroine** et Mlle **Thérèse Reichert** : *Action des substances minérales sur le métabolisme azoté endogène.* — M. **P. Vayssière** : *Les Acridiens migrateurs en Afrique française au cours de l'année 1929.* — M. **L. Lavauden** : *Sur le Chat sauvage de la Corse.* — M. **Ch. Pérard** : *Le congre caoutchouc.* — M. **Marc de Larambergue** : *Etude cytologique de l'autofécondation chez* Limnœa auricularia L. — MM. **W. Arciszewski** et **W. Kopaczewski** : *Le pouvoir-tampon du sérum.* — M. **L. Marchlewski** : *Recherches sur la phylloérytrhine.* — **Maurice Piettre** : *Influence des sels neutres sur la séparation des protéines par la méthode à l'acétone.* — **M. Marage** : *Causes et conséquences de la surdité de Beethoven.* — MM. **Ch. Champy** et **M. Heitz-Boyer** : *Mécanisme d'action du bistouri électrique à haute fréquence (effets thermiques et mécaniques des courants de haute fréquence sur les tissus).*

Séance du 9 Décembre 1929.

1° Sciences mathématiques. — M. **A. Demoulin** : *Sur la théorie des réseaux.* — M. **H. Krebs** : *Sur la déformation des surfaces.* — MM. **Mandelbrojt** et **Gergen** : *Sur les fonctions définies par une série de Dirichlet.* — M. **D.-S. de Lavaud** : *Les variations de sensibilité des freins autoserreurs sur véhicule automobile.* — M. **H. Mineur** : *Sur le mouvement képlérien troublé par un champ de gravitation extérieur.*

2° Sciences physiques. — M. **E. Mathias** : *Contribution à l'étude de la matière fulminante. Les globes excavateurs.* — M. **T. Takéuchi** : *Sur les machines qui fonctionnent entre deux sources radiantes.* — MM. **A. Zmaczynski** et **A. Bonhoure** : *Sur la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.* — M. **A. Guillet** : *Sur l'emploi d'un détecteur à galène dans les mesures opérées par courant variable.* — M. **Stefan Véncov** : *Sur les spectres de l'hydrogène obtenus par choc électronique dans un mélange hydrogène-vapeur de mercure.* — M. **Adolfo T. Williams** : *Les termes spectraux et la valence chimique.* — M. **R. Lucas** et Mlle **D. Biquard** : *Influence de la température et des solvants sur les pouvoirs rotatoires des corps actifs.* — MM. **Georges Fournier** et **Marcel Guillot** : *Sur le rayonnement responsable du relèvement final des courbes d'absorption relatives au Ra ($D+E$).* — MM. **F. Bourion** et **E. Rouyer** : *Étude ébullioscopique des équilibres moléculaires de la résorcine dans les solutions de chlorure de calcium.* — MM. **Bourguel** et Mlle **V. Gredy** : *Sur le mécanisme de l'hydrogénation catalytique.* — M. **H. Pélabon** : *Action de la vapeur d'iode sur la vapeur de phosphore. Produit de volatilité.* — MM. **E. Herzog** et **G. Chaudron** : *Sur l'altération des propriétés mécaniques des tôles de duralumin après corrosion par l'eau de mer.* — MM. **André Job** et **Georges Champetier** : *Fixation de l'acétylène par le bromure de phényl-magnésium en présence de perchlorure de fer.* — M. **G. Dedebant** : *Contribution mathématique à l'analyse du champ de pression.* — M. **C. Dauzère** : *Sur la formation des charges électriques dans les nuages.*

3° Sciences naturelles. — MM. **A.** et **G. Hamel** : *Sur l'hétérogamie d'une Cladophoracée Lola (nov. gen.)* lubrica *(Setch. et Gardn.).* Les auteurs ont étudié une Algue, pour laquelle ils jugent nécessaire la création d'un genre nouveau, *Lola*, qui malgré les apparences, s'éloignerait des *Chaetomorpha* et des *Rhizoclonium* et serait à rapprocher du genre *Urospora* Aresch., où Ville a décrit une reproduction hétérogamique semblable à celle

qui est décrite dans la présente Note. — M. **Paul Dop** : *Sur deux genres nouveaux de Bignoniacées du Tonkin.* L'auteur a examiné des échantillons de deux Bignoniacées du Tonkin présentées sous le même nom vernaculaire de Dinh Thoi. Malgré la similitude complète des noms vulgaires, l'auteur a reconnu deux genres nouveaux *Spathodeopsis et Hexaneurocarpon.* — M. **N. Wagner** : *Evolution du chondriome dans les graines de* Phaseolus multiflorus. Le présent travail conduit aux conclusions suivantes : 1° le chondriome existe constamment dans les cellules de l'embryon chez *Phaseolus* à tous les stades de l'évolution de la graine et aussi dans la graine sèche ; 2° il y a un rapport entre la forme affectée par le chondriome et la teneur en eau de la graine. — M. **Jean Mercier** : *Observations sur les* Psammechinus miliaris *Klein (Echinides) de la baie de Seine.* L'étude des variations morphologiques du *Psammechinus miliaris* des côtes du Calvados permet d'établir quels sont, chez ces Echinides, les bons caractères spécifiques. Ils résident dans la disposition constante en arcs de trois paires de pores ambulacraires et dans l'arrangement des tubercules. Ces conclusions permettent d'orienter pour une espèce donnée, la recherche des caractères qui, par leur fréquence, sont susceptibles d'être utilisés avec certitude pour l'identification d'une espèce. — M. **Gabriel Bertrand** et **L. Silberstein** : *Importance relative du soufre et du phosphore dans la nutrition des plantes.* Exception faite du son de froment, formé surtout par les téguments de la graine, il est rare que la proportion de soufre contenue dans une plante ou dans un organe végétal n'atteigne pas le tiers de celle du phosphore. Il y a davantage d'exemples au contraire, où cette proportion est supérieure, où il y a plus de soufre qu'il n'y a de phosphore. Malgré la variété des plantes et des organes examinés par les auteurs, le rapport S/P ne varie pas, en somme, d'une manière très étendue, il reste compris, à très peu près, entre 0,3 et 1,7. Il est, en général, plus élevé dans les feuilles que dans les racines et dans les graines. Ces résultats ne peuvent manquer de retenir l'attention des agronomes ; ils établissent d'une manière frappante l'importance des besoins de soufre des plantes cultivées et donnent une première idée des proportions d'engrais qui doivent être utilisées pour les satisfaire. — Mme **Y. Khouvine**, MM. **E. Aubel** et **L. Chevillard** : *Sur la transformation de l'acide pyruvique en acide lactique dans le foie.* Un mélange de foie haché et de pyruvate de soude abandonné à 39° en aérobiose montre comparativement aux témoins une augmentation d'acide lactique et de CO^2. L'augmentation d'acide lactique étant une fixation de H^2 et cette fixation de H^2 étant en relation avec l'augmentation de CO^2 on peut penser que H^2 et CO^2 proviennent du glucose. La portion de l'acide pyruvique qui ne participe à cette réaction n'est pas transformée en glucose ; la remontée de l'acide lactique au glycogène étant impossible en anaérobiose à $rH = 7$. Normalement d'ailleurs le foie n'est pas un gluco-formateur, il ne peut que préparer l'acide lactique qui sera synthétisé en glycogène par le muscle.

SOCIETE FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 6 Décembre 1929.

MM. **G. Bruhat** et **R. Legris** : *Absorption et dispersion rotatoire des solutions aqueuses d'acide tartrique.* Les auteurs ont établi deux formules pour l'absorption et la dispersion rotatoire de l'acide tartrique et les tartrates en solutions aqueuses, qui représentent bien leurs propres mesures pour l'absorption et celles de Lowry-Austin et de Descamps pour la dispersion rotatoire. — M. **E. de Camas** : *Les nombres de Landé et la classification des éléments.* En faisant correspondre à chaque corps simple une combinaison avec répétition de 7 (ou 8) objets — objets qui peuvent être les nombres de 1 à 7 — pris trois à trois, l'auteur a obtenu un tableau des éléments analogue à celui de Mendéléeff. Ce tableau prolongé en admettant 8 objets au lieu de 7 donne immédiatement l'intuition des groupes de Bohr, car le nombre des combinaisons (symboles) appartenant aux lignes diagonales prises deux à deux est respectivement 64, 36, 16 et 4. Ce tableau permet de placer les éléments et leurs symboles sur un tétraèdre. En faisant tourner ce tétraèdre de 180° autour d'un parallèle à une arête passant par son centre, on obtient un ensemble formé de dix tétraèdres se pénétrant, dont le solide commun est un octaèdre dont les plans parallèles à la base contiennent 2, 8, 18, 32, 18, 8, 2 éléments et leurs symboles. Ce sont encore les groupes de Bohr qui apparaissent. Enfin, l'auteur établit encore un rapport entre les sommes des chiffres des diagonales de son tableau, les sommes des chiffres des plans de l'octaèdre et les nombres de Landé.

Séance du 20 Décembre 1929.

M. **R. Ferrier** : *Sur la formule einsteinienne d'impulsion-énergie.* Réponse à une objection de M. Genillon. — M. **L. Genillon** : *A propos de la formule d'impulsion-énergie de M. Ferrier.* — M. **A. Arnulf** : *Méthode pour la détermination des angles en utilisant des aires microscopiques.* La précision des méthodes utilisées couramment pour la mesure des angles est limitée par le manque de pouvoir séparateur lorsqu'on fait tendre vers zéro l'aire utilisable. L'auteur décrit un nouveau dispositif qui rend la mesure d'angles complètement indépendante de la mise au point des microscopes, et fournissant une vraie image et non une ombre du repère, permet d'utiliser à volonté des aires étendues ou non. Cette méthode se prête à la mesure des angles et des indices de cristaux ou autres corps microscopiques, à la détermination de la direction de la normale en un point d'une surface, à la mesure de très petits rayons de courbure. — MM. **P. Vernotte** et **Bory** : *Sur les régulateurs de tension à montage de pont.* Description d'un nouveau type de régulateur, utilisant dans sa construction un grand nombre de paramètres, ce qui rend possible l'obtension de propriétés variées. L. B.

Le Gérant : Gaston Doin.

Sté Gle d'Imp. et d'Edit., 1, rue de la Bertauche, Sens.— 3-30